messen steuern regeln

msr



VEB Verlag Technik Berlin
EVP: 4,– M
ISSN 0026-0347

9/89

Neuerscheinungen und Nachauflagen

Mikroelektronische Steuerung von Präzisionsrobotern

Von Dr.-Ing. Reinhard Langmann und Dipl.-Ing. Michael Weingart. REIHE AUTOMATISIERUNGSTECHNIK, Band 238. 1. Auflage. 72 Seiten, 42 Bilder, 13 Tafeln, Broschur, DDR 4,80 M, Ausland 8,— DM. Bestellangaben: 554 101 1/Langmann, Steuerung RA 238

Aufbauend auf den Grundlagen der Industrierobotertechnik konzentrieren sich die Autoren auf die Behandlung der mikroelektronischen Steuerung von Präzisions- und Montagerobotern. Dabei werden u. a. der Aufbau geeigneter elektronisch gestellter Kleinantriebe sowie die Hardware- und Softwarestrukturen des Steuerrechners beschrieben. Praktische Ergebnisse bei der Entwicklung und dem Einsatz solcher Industrieroboter wurden berücksichtigt.



Elektromagnetische Felder

Von Prof. Dr.-Ing. habil. Gerhard Wunsch und Dr. sc. techn. Hans-Georg Schulz. 1. Auflage. Etwa 400 Seiten, 198 Bilder, 12 Tafeln, Leinen, etwa 30,— M, Ausland etwa 42,— DM. Bestellangaben: 554 071 3/Wunsch, Felder

Das Buch ist aus Vorlesungen, die an der Technischen Universität Dresden gehalten wurden, hervorgegangen. In einem vorbereitenden Teil werden die erforderlichen mathematischen Hilfsmittel anwendungsbereit und physikalisch anschaulich dargelegt. Nach einer Einführung in die gebräuchlichsten Koordinatensysteme und Angabe der Feldintegrale wird ein Überblick über die Differentialoperatoren gegeben, und es werden die wichtigsten Integralsätze erklärt.

Von den Grundeigenschaften des elektromagnetischen Feldes ausgehend werden die Laplacesche und Poissonsche Differentialgleichung in verschiedenen Koordinatensystemen gelöst. Die elektromagnetischen Felder werden unterteilt in elektrostatische Felder, stationäre Strömungs- und Magnetfelder, quasistationäre und schnellveränderliche Felder, behandelt nach steigendem Schwierigkeitsgrad. Übungsaufgaben befinden sich am Ende jedes größeren Abschnitts.

Auslieferung in diesen Tagen durch den Fachbuchhandel



VEM-Handbuch Relaisschutztechnik

Von Obering. Wolfgang Doemeland. Herausgeber: Zentrum für Forschung und Technologie des VEB Elektroprojekt und Anlagenbau Berlin. 4., bearbeitete Auflage. 368 Seiten, 284 Bilder, 78 Tafeln, Kunstleder, DDR 27,50 M, Ausland 37,— DM, Bestellangaben: 553 893 9/Doemeland, Relaisschutz
Die 4. Auflage berücksichtigt u. a. neue Vorschriften, veränderte Bewertungskriterien beim Einsatz von Stromwandlern, den Schutz von Netzen mit niederohmiger und kurzzeitig niederohmiger Sternpunkterdung sowie Aspekte beim Einsatz von Schutzrelais mit elektronischer Schaltungstechnik.

Grundkurs Mikroelektronik

Kundenschaltkreise · Standardschaltkreise · Mikrocomputerschaltkreise
Von Prof. Dr.-Ing. habil. Albrecht Möschwitzer. 3., bearbeitete Auflage. 168 Seiten, 165 Bilder, 27 Tafeln, Broschur, DDR 16,50 M, Ausland 24,— DM. Bestellangaben: 554 085 2/Möschwitzer, Grundkurs
Die 3. Auflage ist vor allem durch die stärkere Betonung der Gate-Array-Technik gekennzeichnet.

Elektronische Schaltungstechnik

Von Prof. Dr. sc. techn. Roland Köstner und Prof. Dr.-Ing. habil. Albrecht Möschwitzer. 5., stark bearbeitete Auflage. 312 Seiten, 356 Bilder, 37 Tafeln, Leinen, DDR 42,— M, Ausland 42,— DM. Bestellangaben: 554 088 7/Köstner, Schaltung
Die starke Bearbeitung betrifft vor allem den Analogteil. Schwerpunkte waren die Kennzeichnung des Kleinsignalverhaltens durch physikalische Ersatzschaltbildgrößen, die Aktualisierung der behandelten Schaltkreistypen und die Einbeziehung von Übungsaufgaben. Neu aufgenommen wurden Operationsverstärker mit Feldeffekttransistoren, PLL-Schaltungen, integrierte AD- und DA-Konvertschaltkreise sowie weitere Varianten für integrationsfreundliche astabile Multivibratoren.





messen ■ steuern ■ regeln

Wissenschaftlich-technische
Zeitschrift für die
Automatisierungstechnik

Zum Titelbild:

Durchflußmeßprobleme zählen zu den schwierigen Aufgaben der Prozeßmeßtechnik, insbesondere bei Mehrphasenströmungen und bei verschmutzten Medien. Zu den Problemfällen gehören auch die Messungen von sehr großen und sehr kleinen Durchflüssen und Messungen unter extremen Bedingungen, wie Hitze, Strahlung oder chemische Aggressivität. In unserem Beitrag auf S. 394 wird gezeigt, wie mit der im Titelbild dargestellten Korrelationsmethode unter Einsatz von einfachen Sensoren einige dieser Probleme gelöst werden können.

Titelgrafik: G. SCHWESINGER

9

1989

32. Jahrgang
September 1989

ISSN 0026-0347

VEB
VERLAG TECHNIK
BERLIN

Aufsätze

J. Beuschel

Zur Vermittlung zwischen Theorie und Praxis

Einleitung, Problemstellung und Stand der Diskussion

Die langjährige Diskussion zur „Kluft zwischen Theorie und Praxis" in der Automatisierungstechnik erfuhr mit der Einführung der Mikrorechentechnik Ende der 70er Jahre eine verständliche Belebung. Ein gewisses Resümee aus erkenntnistheoretischer Sicht wurde hierzu in [1] gezogen. Nach der Etablierung der Mikrorechentechnik deutet sich wiederum eine qualitativ neue Phase in der industriellen Automatisierung an. Sie läßt sich grob kennzeichnen durch (Bild 1)

— die sich auf dem gerätetechnischen Sektor vollziehende funktionelle Integration für die Fertigungs- und Prozeßautomatisierung zu einem Gerätesystem der Produktionsautomatisierung (zunehmend werden auf der Basis universeller Hardware — Prozeßstationen/Industriecomputer/Controller — automatisierungsrelevante informationsverarbeitende Funktionen realisiert)
— die informationelle Kopplung der (echtzeitfähigen) prozeßnahen Automatisierungsebenen mit dem (daten-/batchorientierten) administrativ-dispositiven Bereich zu einem Produktionsleitsystem (vertikale Integration) einschließlich der damit zusammenhängenden horizontalen informationellen Integration.

Dieses Konzept der rechnerintegrierten Produktion ist mit umfangreichen Konsequenzen für die Hard- und Software in der Anlagen- und Gerätetechnik verbunden (Lokale Netze, Fachsprachen, Geräteperipherie, Datenbänke, Expertensysteme u. a.).
Hinzu tritt eine neue Etappe der Zusammenarbeit von wissenschaftlichen Institutionen und den produzierenden Bereichen (dies betrifft die gesamte Volkswirtschaft), um u. a. die Ergebnisse geistiger Arbeit beschleunigt zu vergegenständlichen und produktionswirksam zu machen. Die „Forschungsverordnung" [2] unterstützt diese gesellschaftliche Notwendigkeit nachdrücklich.
Grundsätzlich wurden das Verhältnis von Theorie und Praxis als wechselwirkend angesehen und damit die Bestimmung dieses Prozesses als eine dialektische Einheit betrachtet [3] und [4]. Allerdings wurden in der bisherigen Diskussion vor allem die Ursachen der „**Kluft** zwischen Theorie und Praxis" akzentuiert. Sie wird neben der „Modell-Lücke" insbesondere auf eine „Ziel-Lücke" zurückgeführt [5]. Deshalb erscheint es zweckmäßig, gerade die die Theorie und Praxis verbindenden Faktoren hervorzuheben.
Im vorliegenden Beitrag soll die Rolle der technischen Kenngrößen in der **Vermittlung** zwischen Theorie und Praxis verdeutlicht werden. Sie stellen eine unverzichtbare Kategorie zur Abbildung technischer Sachverhalte dar und spielen nach Ansicht des Autors eine entscheidende Rolle in dieser Vermittlung. Die Tätigkeit der in der Produktionssphäre und der in der wissenschaftlichen Sphäre agierenden Subjekte als wichtigstes Vermittlungsglied zwischen Theorie und Praxis ist ohne Bezugnahme auf technische Kenngrößen nicht denkbar. Tatsächlich erscheint und äußert sich technische Realität in bestimmten, bewußt hervorgebrachten Eigenschaften. Diese Eigenschaften erfaßt und bewertet man mit technischen Kenngrößen, indem man auf der Grundlage eines adäquaten Maßes ihren quantitativen Ausdruck in Form der Kenngrößenwerte darstellt. Technische Kenngrößen sind das Ergebnis der Erkenntnistätigkeit des Menschen und dienen der bewertenden Abbildung technischer Realität. Sie sind Bestandteil und Resultat theoretischer Reflexionen und empirischen Wissens. In dieser Vermittlerrolle zwischen Theorie und Praxis liegt die wesentliche erkenntnistheoretische Funktion technischer Kenngrößen.
Diese prinzipielle Bedeutung der technischen Kenngrößen soll zunächst aufgedeckt werden.

Doz. Dr. sc. phil. Dr.-Ing. JÜRGEN BEUSCHEL (43) studierte von 1965 bis 1970 an der Moskauer Hochschule für Verkehrswesen (Fakultät für Automatisierung und Rechentechnik). Dort 1973 Promotion A (Zuverlässigkeit elektronischer Steuerungen). Danach Entwicklungsingenieur, Themen-, Gruppen- und Abteilungsleiter im Institut für Regelungstechnik Berlin (jetzt Zentrum für Forschung und Technologie des Kombinats VEB Elektro-Apparate-Werke „Friedrich Ebert" Berlin-Treptow). 1986 Promotion B (Philosophische Relevanz technikwissenschaftlicher Disziplinen). 1988 Berufung zum Hochschuldozenten an der Sektion Produktionsautomatisierung der Ingenieurhochschule Berlin.

1. Zur Kategorie „Technische Kenngröße" und Begründung ihrer Vermittlungsfunktion

Die Beziehungen zwischen Theorie und Praxis sind infolge der hochgradigen, durch Institutionalisierung teilweise verfestigten Arbeitsteilung kompliziert. Praktikabilität einer technischen Theorie und die theoretische Durchdringung des von dieser Theorie abgebildeten technischen Sachverhaltes sind aber zwei Aspekte eines einheitlichen Prozesses. Die diesem Prozeß innewohnende Dynamik wird u. a. von dem Stand der Theorieentwicklung, der Art und dem Wirksamwerden der subjektiven Repräsentanz, dem Fortschreiten der technischen Praxis, ihren Wechselwirkungen u. a. Faktoren geprägt.
Mit der Objektivierung der Tatsache einer „Kluft zwischen Theorie und Praxis" werden destabilisierende Faktoren ihrer Einheit konstatiert. Es ist aber von äußerstem praktischen Interesse, auch die Einheit von Theorie und Praxis zu objektivieren. Das heißt, es muß die Frage nach den stabilisierenden Momenten in diesem Prozeß beantwortet werden. Die Schwierigkeit besteht in der Erklärung des Mechanismus der Vermittlung zwischen fortschreitender Technik und der sich entwickelnden Theorie in einem dialektischen Prozeß. Das widersprüchliche Entwicklungsmoment, das als ein Paradoxon erscheint, äußert sich in der ständigen Relativierung des theoretischen Abbildes durch den technischen Fortschritt oder das durch den Vorlauf der Theorie offensichtliche moralische Veralten technischer Sachverhalte. Wie ist es bei einer sich vollziehenden Theoriedynamik und ständigen Entwicklung des Gegenstandes — im Unterschied zum Gegenstand der Naturwissenschaften — dieser Theorie möglich, eine praktikable Theorie zu schaffen? Gibt es (die Absurdität dieser Frage im Zusammenhang mit dem wissenschaftlich-technischen Fortschritt ist nur scheinbar) in der technischen Realität relative Fixpunkte, auf die sich eine technische Disziplin stützen kann? Sind möglicherweise Invarianten technischer Prozesse bevorzugter Ausgangspunkt und Untersuchungsgegenstand technischer Wissenschaften, die sich in der Praxis nachweisen lassen und anhand dieser sich Theorie verifizieren läßt?
Eine befriedigende Beantwortung dieser Frage muß die Kategorie der technischen Kenngröße berücksichtigen. Ausgangspunkt der Überlegungen ist der technische Prozeß als die grundlegende Daseinsform technischer Realität [6]. Mit ihm als sein materieller Träger verwirklicht sich der Gebrauchswert technischer Gebilde. Der tech-

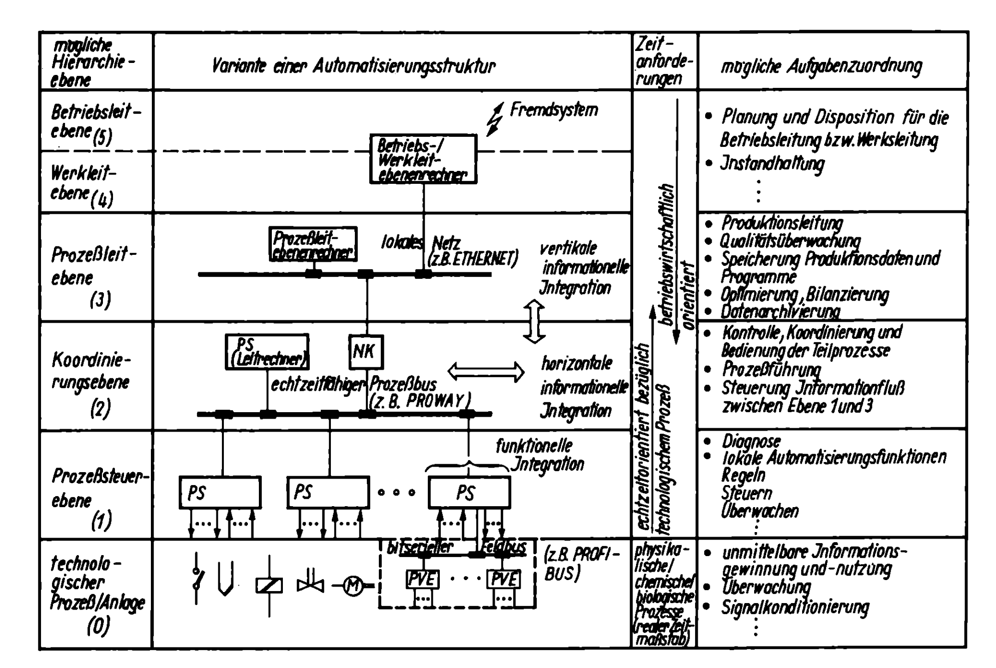


Bild 1.
Horizontale und vertikale informationelle Integration in Automatisierungshierarchien auf der Basis universeller Automatisierungsgeräte und lokaler Netze bzw. Prozeßbusse
PS Prozeßstation; *NK* Netzkoppler; *PVE* prozeßnahe Verarbeitungseinheit

nische Prozeß geht aus der Sicht des übergeordneten Prozesses mit seiner technischen Funktion als konstituierende Komponente in diesen ein und belegt damit seinen Zweck. Die technische Funktion wird ihrerseits durch eine bestimmte Struktur realisiert, die wiederum verschiedene Teilfunktionen beinhaltet, basierend auf elementaren technischen Gebilden als ihre materiellen Träger. Der technische Prozeß ist somit strukturiert und durch eine vorherrschende „Handlungs"-Hierarchie präfixiert.

Die Vorbestimmtheit der Funktion als Voraussetzung für den planmäßigen Ablauf des übergeordneten Prozesses macht diese zu einem seiner notwendigen und relativ beständigen Bestandteile. Durch welche Struktur diese Funktion umgesetzt wird, auf welche Art und Weise, mit welcher Technologie stoffliche, energetische und informationelle Größen transformiert werden, ist zunächst für den Gesamtprozeß nicht relevant. Es läßt sich diese Tatsache an einer Automatisierungsanlage z. B. mit den relativ stabilen Funktionen der Prozeßführung, -stabilisierung oder -sicherung vergegenwärtigen.

Während also die Funktion mit einer gewissen Invarianz behaftet ist und deshalb auch eine „konservative" Position einnimmt, ist die Struktur von temporärer Natur, variierbar, in qualitativer Hinsicht ohne Einfluß auf die Funktion und deshalb prinzipiell auch „revolutionäres" Element des technischen Prozesses. Die Realisierung o. g. Funktionen auf der Basis kontaktbehafteter, elektronischer und mikroelektronischer bzw. speicherprogrammierbarer Technik belegt dies.

Plausibel wird damit auch, daß der Bezugspunkt einer technischen Theorie i. allg. unter funktionalem Aspekt zu wählen ist. Die Funktion an sich ist aber nur eine rein quantitative Bestimmung und deshalb nicht erschöpfender Gegenstand einer technischen Theorie, auf deren Grundlage projektierende und berechnende Tätigkeit die Vorhersage von Prozeßverläufen ermöglichen soll. Selbst die unscharfe Gut-Schlecht-Bewertung einer Funktion (aus der Sicht der Planmäßigkeit bzw. Effizienz des übergeordneten Prozesses) erfordert eine abschätzbare Größe für diese Beurteilung der Güte der Funktionsrealisierung.

Die Möglichkeit der Quantifizierung der technischen Funktion ist potentiell mit den technischen Kenngrößen gegeben und findet in adäquaten Maßen und auf dieser Grundlage berechneten Kennwerten ihren Ausdruck. Damit werden auch die zunächst wenig einleuchtende Feststellung über die relative Invarianz von Funktionen gegenüber Strukturänderungen verständlich und die sich dennoch vollziehenden ständigen Strukturveränderungen erklärbar: über eine neue Funktionsstrukturierung wird eine den Zielvorstellungen wünschenswertere Maßzahl für die die technische Funktion charakterisierenden technischen Kenngrößen zur neuen technischen Norm. Die im Möglichkeitsfeld der technischen Kenngröße potentiell vorhandene Möglichkeit wird zur technischen Realität. Das unmittelbare Gebundensein der technischen Kenngrößen an die technische Funktion als die relativ invariante Komponente des technischen Prozesses und die Möglichkeit des Zugangs zur quantitativen Bewertung des Funktionsprozesses über die technischen Kenngrößen erlegen letzteren diese außerordentliche Rolle im Wechselverhältnis von Theorie und Praxis auf. Diese Vermittlungsfunktion der technischen Kenngrößen ist zugleich ihre wichtigste erkenntnistheoretische Funktion. Sie zeigt sich im gesamten historischen Prozeß der Präzisierung der technischen Kenngrößen zur adäquaten Beschreibung technischer Funktionen, dem Auffinden eines geeigneten Maßes für technische Kenngrößen, dem Hervorbringen angemessener Berechnungs- und Meßverfahren zur Bestimmung der Maßzahlen und in der in einer abschließenden Phase sich vollziehenden Standardisierung im Hinblick auf konkrete Anwendungsfälle der technischen Funktion. Die vermittelnde Funktion technischer Kenngrößen widerspiegelt die Dynamik technischer Theorien und Disziplinen im Wechselverhältnis mit der technischen Praxis, in dem sie als Ausgangs- und Bezugspunkt vermittelnd wirkt.

Im historischen Prozeß der Herausbildung technischer Kenngrößen entwickeln sich mit diesen auch Bezugspunkte für technische Theorien. Andererseits kann es mit der zunehmenden Etablierung technischer Theorien zu Konfrontationen mit Ausgangspositionen kommen, in deren Folge technische Kenngrößen und ihre Maße modifiziert, substituiert, ergänzt oder präzisiert werden. Technische Kenngrößen werden in der technischen Praxis hervorgebracht und erweisen sich als Kristallisationspunkte zukünftiger Theorien, indem letztere Methoden oder Vorschriften für ihre Quantifizierung erarbeiten. Sie sind als entscheidende historische und logische Vermittlungsglieder zwischen Theorie und Praxis anzusehen. So haben sich z. B. mit den Begriffen (Eigenschaften) Festigkeit, Information, Zuverlässigkeit und Stabilität bzw. Regelgüte und den wissenschaftlichen Bemühungen, diese quantitativ zu bewerten, die Theoretische/Technische Mechanik, die Theorie der Informationsübertragung, die Zuverlässigkeitstheorie und die klassische Regelungstheorie herausgebildet. Interessant ist hier die Feststellung in [7] über eine fehlende Theorie der Informationsverarbeitung mit dem Hinweis auf ein Defizit an entsprechenden Parametern (etablierten technischen Kenngrößen). Im folgenden sollen die theorie- und praxisrelevanten Funktionen und damit die Vermittlerrolle technischer Kenngrößen zwischen Theorie und Praxis thesenhaft detailliert werden (Bild 2). Sie liefern Aussagen zur quantitativen/unscharfen Bewertung technischer Funktionen und Prozesse in der Theorie bzw. im Modell und in der industriellen Praxis.

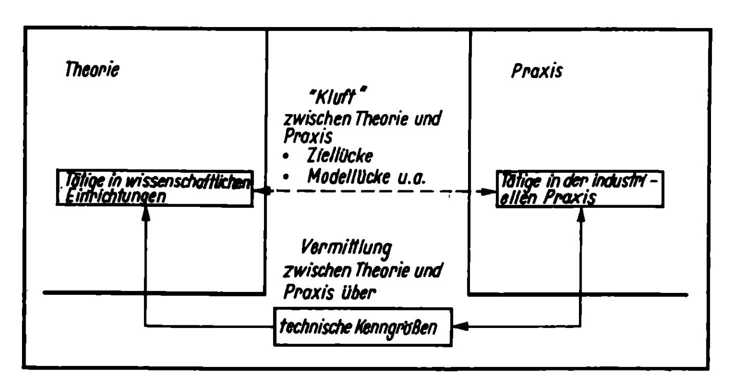


Bild 2. Zur Vermittlungsfunktion technischer Kenngrößen

Damit erfolgen

— die Abbildung von Prozessen bzw. Eigenschaften durch Berechnung/Simulation und Messung/Prozeßanalyse (Abbildungsfunktion)
— der Nachweis der Adäquatheit des theoretischen Abbildes durch Vergleich (Kriteriumsfunktion)

bei gleichzeitiger

— Berücksichtigung von wesentlichen (Theorie) bzw. allen (industrielle Praxis) Einflußgrößen auf den zu bewertenden technischen Prozeß (Integrationsfunktion)
— Abstraktion von „unwesentlichen" Einflußgrößen und zufälligen Realisierungen im Modell (Abstraktionsfunktion)
— Implikation des Möglichkeitsfeldes zur Veränderung der Kenngrößenwerte über die berücksichtigten Einflußgrößen (Zielfunktion)
— Begründung der notwendigen Veränderung der Kenngrößenwerte durch die Einbindung in einen übergeordneten Prozeß (Strategiefunktion).

2. Vermittlungsfunktion der technischen Kenngrößen

2.1. Abbildungsfunktion

Technische Kenngrößen bilden sich in der technischen Praxis und im Rahmen technischer Theorien heraus und stabilisieren sich begrifflich und inhaltlich im Hinblick auf die wesentlichen Anforderungen an die zu kennzeichnende Funktion. Sie gehören historisch und funktionell einer ersten Abbildungsebene an. Die Abbildung des Funktionsprozesses durch technische Kenngrößen ist auf bestimmten Funktionsebenen unscharf und bedarf einer Präzisierung insofern, als die die technische Kenngröße beeinflussenden Faktoren mit ihren Wirkungen zu ermitteln sind. Diese Untersuchungen sind an Modellvorstellungen gebunden und wesentlicher Gegenstand der entsprechenden technischen Disziplin bzw. Theorie. Je elementarer die betrachtete technische Funktion, desto intensiver ist die naturwissenschaftliche Durchdringung dieser Theorie.

2.2. Kriteriumsfunktion

Ein Maß für die technische Kenngröße als bekannt und meßbar vorausgesetzt, besteht mit dieser die praktische Möglichkeit des Nachweises der Adäquatheit des theoretischen Abbildes (des in der technischen Disziplin benutzten Modells) von der technischen Realität. Die technische Praxis als Kriterium der Wahrheit ist an die Existenz technischer Kenngrößen gebunden. Mit der Vertiefung des theoretischen Abbildes repräsentiert die technische Disziplin/Theorie zunehmend die Totalität des Konkreten.

2.3. Abstraktionsfunktion

Da sich die technische Funktion nur im Funktionsprozeß realisiert, wird mit einem endlichen Mittel — dem Begriff der technischen Kenngröße und seinem quantitativen Ausdruck — ein von Natur aus i. allg. unendlicher Vorgang erfaßt. Die prinzipielle Unmöglichkeit, die Manifestation des technischen Prozesses als Einheit der Mannigfaltigkeit und im Raum-Zeit-Kontinuum sprachlich und theoretisch abzubilden, zwingt dazu, mit den technischen Kenngrößen eine wesentliche Seite des technischen Prozesses zu erfassen und von der konkreten Vielfalt (der technischen Totalität) zu abstrahieren. Deshalb sind die für die gegenständliche Praxis und ihrer theoretischen Abbildung oft als hinreichend genau angesehenen quantitativen Bewertungen der technischen Kenngrößen mit entsprechenden Kenngrößenwerten tatsächlich Mittelwerte im statistischen Sinne.

2.4. Integrationsfunktion

Technische Kenngrößen bilden als integrierende Größen mit dem Prozeß gleichzeitig eine bestimmte Anzahl der den technischen Prozeß konstituierenden — entsprechend dem gegenwärtigen Erkenntnisstand — und naturgemäß vorhandenen Prozeßelementeverhalten ab, die durch die bewußt genutzten Wechselwirkungen bedingt sind und die Prozeßstruktur ausmachen.

2.5. Zielfunktion

Mit der Bestimmung der Wirkungen der prozeßinternen Einflußfaktoren auf die technische Kenngröße werden die potentiellen und zukünftig zu realisierenden Möglichkeiten für eine Verbesserung des Wertes entsprechend der aktuellen Zielstruktur, d. h. zielunterstützende oder dem Ziel gegenläufige Änderungen der Einflußgrößen, aufgedeckt. Damit werden gleichzeitig mögliche künftige Entwicklungstendenzen sichtbar und im Sinne des technischen Fortschritts auch vorweggenommen. Sie sind in den technischen Kenngrößen gewissermaßen aufgehoben. Die Existenz von Zielsystemen kompliziert die Situation. Die Zielfunktion technischer Kenngrößen läßt sich aus ihrer Strategiefunktion ableiten.

2.6. Strategiefunktion

Die Einordnung der betrachteten technischen Funktion in eine Funktionshierarchie, die mit steigender Ebene zunehmend sozialökonomischer Determination unterliegt, prägt auch die technische Kenngröße aus der Sicht des übergeordneten Prozesses. Nur so wird transparent, daß technische Kenngrößen bereits ökonomische Aussagen enthalten oder ökonomische Modelle parametrieren. Diese Nach-außen- bzw. Nach-oben-Orientiertheit ist dominierend und läßt über die technische Kenngröße die sozialökonomische Determiniertheit technischer Prozesse erkennen. Technische Kenngrößen implizieren damit auch den gesellschaftlichen Bedürfnissen entsprechende Strategien im technischen Fortschritt für die entsprechende technische Funktion.

Schlußbemerkungen

Technische Kenngrößen spielen deshalb eine außerordentliche Rolle in Theorie und Praxis, weil sie — trotz der objektiv existierenden „Ziel-Lücke" — Bestandteil ihrer gemeinsamen Zielmenge sind. Einen sichtbaren Ausdruck dafür findet man in den Pflichtenheften sowohl der Grundlagen- und angewandten Forschung als auch der Entwicklung und Überleitung. Diese Erkenntnisse sind bewußt in der Wissenschaftskooperation bzw. Auftragsforschung zu nutzen.

Die hier genannten Aspekte dürften auch auf ökonomische Kenngrößen zutreffen, obwohl die Zusammenhänge komplexer sind. Insbesondere unterstreicht die Bewertung von Prozessen volkswirtschaftlicher Dimension die Relevanz der Problematik. Würden doch hier Verselbständigung, Nichtbeachtung von wechselseitigen Abhängigkeiten im Kenngrößensystem oder gar nichtadäquate Kenngrößen zu Fehleinschätzungen und -orientierungen für die Entwicklung führen, die volkswirtschaftlichen Ausmaßes und möglicherweise irreversibel sind. Vermittlung könnte — da hier stets tätige Personen die Handlungsträger sind — auch in ihr Gegenteil umschlagen und die „Kluft zwischen Theorie und Praxis" in eine Qualität überführen, die letztendlich zu einer Negation der Theorie führen müßte und damit zwangsweise zum Ausgangspunkt einer neuen Theorie würde. Andererseits können mit Kenngrößen auch Entwicklungen selektiert werden.

Neben den die technische Funktion näher kennzeichnenden technischen Kenngrößen bilden sich auch solche heraus, die Bezug auf

strukturelle Gegebenheiten nehmen, wenn diese hinreichend homogen sind (z. B. Materialkonstanten, Anzahl der Bedienstationen in einem Bediensystem, Ordnung des Regelkreises) oder sich eine Prozeßstruktur als stabil während des technischen Fortschritts erweist und dadurch Strukturparameter als synonyme Aussagen für technische Kennwerte der technischen Funktion anzusehen sind und deshalb eindeutige Rückschlüsse auf das Leistungsvermögen dieser gestatten (z. B. Wortbreite und Taktfrequenz in Rechenmaschinen).

Das Gesamtgefüge der technischen Kenngrößen in der jeweiligen technischen Disziplin ist ein konzentrierter Ausdruck ihres gegenwärtigen Zustandes. Sie sind das Fazit der Entwicklung einer technischen Disziplin, an deren Herausbildung und Präzisierung sich die Entwicklung und Etablierung technischer Disziplinen selbst verfolgen läßt. Ebenso wie der technische Prozeß Synthese von Natürlichem und Gesellschaftlichem ist, bringen auch seine kennzeichnenden Größen den Zusammenhang zwischen Natur und Gesellschaft zum Ausdruck und werden mit dieser Eigenschaft zu einem wesentlichen vermittelnden Faktor zwischen Theorie und Praxis.

Literatur

[1] Banse, G.: Lücke zwischen Theorie und Praxis? msr, Berlin 26 (1983) 7, S. 386—390.

[2] Gbl. der DDR, Teil I, Nr. 2 vom 16. 1. 1986 (Forschungsverordnung).

[3] Fuchs, H.: Bemerkungen zu den Wechselbeziehungen zwischen Theorie und Praxis in der Automatisierungstechnik. msr, Berlin 24 (1981) 1, S. 46—47.

[4] Töpfer, H.; Fuchs, H.: Zum Wechselverhältnis von Steuerungstheorie und Automatisierungsgerätetechnik. Impuls 21 (1981) 3, S. 101—106.

[5] Kriesel, W.: Überwindung der Gründe für die Kluft Theorie—Praxis in der Automatisierungstechnik. msr, Berlin 25 (1982) 4, S. 182—183.

[6] Beuschel, J.; Fischer, K.; Banse, G.: Zuverlässigkeitstheorie — eine technikwissenschaftliche Betrachtung. msr, Berlin 24 (1981) 6, S. 312 bis 316.

[7] Völz, H.: Informationstechnik und Kunst. rd 25 (1988) 1, S. 12—14.

msr 8913

J. Gätke

Bemerkungen zur Darstellung des Strömungsprofils und zum k-Faktor im Zusammenhang mit der akustischen Volumenstrommessung an Rohren

Einleitung

Ein Problem bei der akustischen Volumenstrommessung an Rohren ergibt sich aus der Unkenntnis des vorliegenden Strömungsprofils. Im Zusammenhang damit wird ein Kalibrierungsfaktor, der sogenannte k-Faktor, definiert. Da auf diesem Gebiet weitgehend mit empirischen Daten gearbeitet wird, findet man recht unterschiedliche Darstellungen. Es wird der Versuch unternommen, zwischen den unterschiedlichen Angaben zum Strömungsprofil und den daraus abgeleiteten unterschiedlichen Darstellungen des k-Faktors Beziehungen herzustellen und Verknüpfungen mit dem Turbulenzgrad und der Reynolds-Zahl anzugeben.

1. Definition des k-Faktors

Die Bestimmung des Volumenstromes Q bei Messungen an Rohren mit kreisrundem Querschnitt $A = \pi R^2$ geschieht bei Verfahren, die auf einer Messung der Strömungsgeschwindigkeit basieren, nach

$$Q = \bar{v}_A A \,. \tag{1}$$

Die mittlere Flächengeschwindigkeit $\bar{v}_A$ (mittlere Geschwindigkeit der Querschnittsfläche der Strömung in axialer Richtung) läßt sich aus der radialen Verteilung der Strömung $v(r)$ ermitteln:

$$\bar{v}_A = \frac{Q}{\pi R^2} = \frac{1}{A} \int_0^R v(r)\, \mathrm{d}A(r) = \frac{2}{R^2} \int_0^R v(r)\, r\, \mathrm{d}r \tag{2}$$

und

$$Q = 2\pi \int_0^R v(r)\, r\, \mathrm{d}r \,. \tag{3}$$

Die akustische Messung erlaubt nur die Ermittlung der Strömungsgeschwindigkeit auf einem Schallpfad. Es besteht die Aufgabe, eine eindeutige Beziehung zwischen der gemessenen Pfadgeschwindigkeit $\bar{v}_s$ und der mittleren Flächengeschwindigkeit $\bar{v}_A$ herzustellen.

(1) läßt sich damit schreiben als

$$Q = k \bar{v}_s A \,. \tag{4}$$

Dieser k-Faktor wurde nur für Pfadgeschwindigkeiten definiert, die auf dem Rohrdruchmesser, d. h. bei Messungen durch die Rohrachse, ermittelt wurden, obwohl auch andere Meßanordnungen möglich sind [1]. In diesem Falle ist $\bar{v}_s$ als Funktion der radialen Strömungsverteilung anzugeben:

$$\bar{v}_s = \frac{1}{R} \int_0^R v(r)\, \mathrm{d}r \tag{5}$$

und somit auch k als

$$k = \frac{\bar{v}_A}{\bar{v}_s} = \frac{2}{R} \frac{\int_0^R v(r)\, r\, \mathrm{d}r}{\int_0^R v(r)\, \mathrm{d}r} < 1 \,. \tag{6}$$

Da unterschiedliche Auffassungen über die radiale Strömungsgeschwindigkeitsverteilung $v(r)$ bestehen, gibt es auch keine einheitlichen Darstellungen für konkrete k-Werte und Beziehungen zum Turbulenzgrad und zur Reynolds-Zahl Re.

2. Darstellung der Strömungsprofile

In [2] [3] [11] und [13] wird die Strömungsgeschwindigkeitsverteilung $v(r)$ angegeben als

$$v(r) = v_{\max} \left(1 - \frac{r}{R}\right)^{1/n}, \qquad n = n(Re), \qquad \text{(Potenzprofil)}. \tag{7}$$

Doz. Dr. sc. techn. Johann Gätke (54) studierte von 1954 bis 1960 Physik an der Universität Rostock. Ab 1961 dort Assistent im Institut für Theoretische und Experimentelle Elektrotechnik. 1969 Promotion A (Elektrische Eigenschaften von Plastwerkstoffen). Ab 1970 wissenschaftlicher Oberassistent im WB Allgemeine Elektrotechnik der Sektion Technische Elektronik der Wilhelm-Pieck-Universität Rostock. 1972 Facultas docendi für das Lehrgebiet „Theoretische Elektrotechnik". 1982 Promotion B (Ein Beitrag zur hydroakustischen Meßstrecke). 1984 auch im Bereich der Wasserwirtschaftsdirektion Küste, WRZ Warnemünde, beschäftigt. 1986 Berufung zum Dozenten an o. g. Sektion.

Entsprechend (2) ergibt sich

$$\frac{\bar{v}_A}{v_{max}} = \frac{2n^2}{(n+1)(2n+1)} \tag{8}$$

und mit (5)

$$\frac{\bar{v}_s}{v_{max}} = \frac{n}{n+1}. \tag{9}$$

Daraus folgt für den k-Faktor nach (6)

$$k_n = \frac{2n}{2n+1}. \tag{10}$$

In [4] und [5] wird die Darstellung

$$v(r) = v_{max}\left(1 - \frac{r}{R}\right)^p, \qquad p = p(Re), \tag{11}$$

gewählt. Das führt zu

$$\frac{\bar{v}_A}{v_{max}} = \frac{2}{(p+1)(p+2)}, \tag{12}$$

$$\frac{\bar{v}_s}{v_{max}} = \frac{1}{p+1}, \tag{13}$$

$$k_p = \frac{2}{p+2}. \tag{14}$$

In [4] korrespondieren die Darstellungen für $v(r)$ und k nicht. Da der k-Faktor dort gemäß (10) angegeben wird, liegt ein Fehler in der Darstellung von $v(r)$ vor, sie wird vermutlich der Darstellung in [2] entsprechen.

Wie man auch erkennt, gibt es zwischen (7) und (11) keinen grundlegenden Unterschied, da

$$p = 1/n. \tag{15}$$

Wird hier der unterschiedliche Turbulenzgrad durch die Exponenten n bzw. p wiedergegeben, so gibt es Darstellungen, in denen dieser Einfluß durch die schwer zu erfassenden physikalischen Größen

- Schubspannungsgeschwindigkeit $v_\tau = \sqrt{\frac{\lambda}{8}}\,\bar{v}_A$
- Rohrreibungszahl λ
- kinematische Viskosität ν

wie folgt beschrieben wird [5]:

$$v(r) = v_\tau\left\{5{,}65 \lg\left[v_\tau R/\nu\left(1 - \frac{r}{R}\right)\right] + 5{,}6\right\}. \tag{16}$$

Diese logarithmische Profildarstellung gilt nicht in unmittelbarer Randnähe.

Für $r = 0$ gewinnt man die maximale Geschwindigkeit v_{max} zu

$$v(0) = v_{max} = v_\tau[5{,}65 \lg(v_\tau R/\nu) + 5{,}6].$$

Mit ihr kann man (16) nunmehr darstellen als

$$\begin{aligned} v(r) &= v_{max} + 5{,}65 v_\tau \lg\left(1 - \frac{r}{R}\right) \\ &= v_{max}\left[1 + 5{,}65\frac{v_\tau}{v_{max}} \lg e \cdot \ln\left(1 - \frac{r}{R}\right)\right] \end{aligned}$$

und mit der Abkürzung

$$q = 5{,}65\frac{v_\tau}{v_{max}} \lg e \tag{17}$$

folgt daraus

$$v(r) = v_{max}\left[1 + q \ln\left(1 - \frac{r}{R}\right)\right], \qquad q = q(Re), \tag{18}$$

(logarithmisches Strömungsprofil, vgl. [13]).

(2) und (5) liefern für diese Darstellung

$$\frac{\bar{v}_A}{v_{max}} = 1 - \frac{3}{2}q, \tag{19}$$

$$\frac{\bar{v}_s}{v_{max}} = 1 - q, \tag{20}$$

womit sich gemäß (6) der k-Faktor

$$k_q = \frac{1 - \frac{3}{2}q}{1 - q} \tag{21}$$

ergibt.

In [6] finden sich empirische Darstellungen, die keine Abhängigkeit von der Turbulenz ausweisen:

$$v(r) = 2\bar{v}_A\left[1 - \left(\frac{r}{R}\right)^2\right] \tag{22}$$

für den laminaren Fall, wobei $2\bar{v}_A = v_{max}$ ist, und

$$v(r) = 1{,}19\bar{v}_A\left[1 - \left(\frac{r}{R}\right)^{1,25}\right]^{1/7} \tag{23}$$

für turbulente Strömung mit $Re > 3000$.

3. Einwände gegen die Strömungsprofildarstellung

a) Im ungestörten Fall ist zu erwarten, daß das Strömungsprofil symmetrisch zur Rohrachse ist. Das wird durch die Darstellungen (7), (11), (16) und (23) erfüllt, wenn r als $|r|$ aufgefaßt wird (Bild 1).

b) Aus der Physik ist zu erwarten, daß

$$\left.\frac{dv(r)}{dr}\right|_{r=0} = 0 \text{ ist.} \tag{24}$$

Das gilt lediglich für die Darstellung (22).

c) Das Strömungsprofil im laminaren Fall soll eine quadratische Parabel sein. Den experimentellen Beleg liefern [7] und [8], indirekte Beweise [3] [4] [6] und [13] dadurch, daß im laminaren Fall

$$\bar{v}_A/v_{max} = 0{,}5 \tag{25}$$

beträgt.

d) Für den laminaren Fall soll nach [3] und [4]

$$k = 0{,}75 \tag{26}$$

betragen.

Die Angaben unter c) und d) sind nur mit den aufgeführten Profildarstellungen (18) und (22) zu verwirklichen. In [3] wird für den laminaren Fall $n = 2$ angegeben, was nach (8) bzw. (10) nicht auf die Werte (25) bzw. (26) führt.

Den Bedingungen, die unter a) bis d) formuliert wurden, wird eine Profildarstellung in der Form

$$v(r) = v_{max}\left[1 - \left(\frac{r}{R}\right)^{2m}\right] \text{ (parabolisches Profil)}, \qquad m = m(Re) \tag{27}$$

mit

$$\frac{\bar{v}_A}{v_{max}} = \frac{m}{m+1}, \tag{28}$$

$$\frac{\bar{v}_s}{v_{max}} = \frac{2m}{2m+1} \tag{29}$$

und

$$k_m = \frac{2m+1}{2(m+1)} \tag{30}$$

gerecht [1].

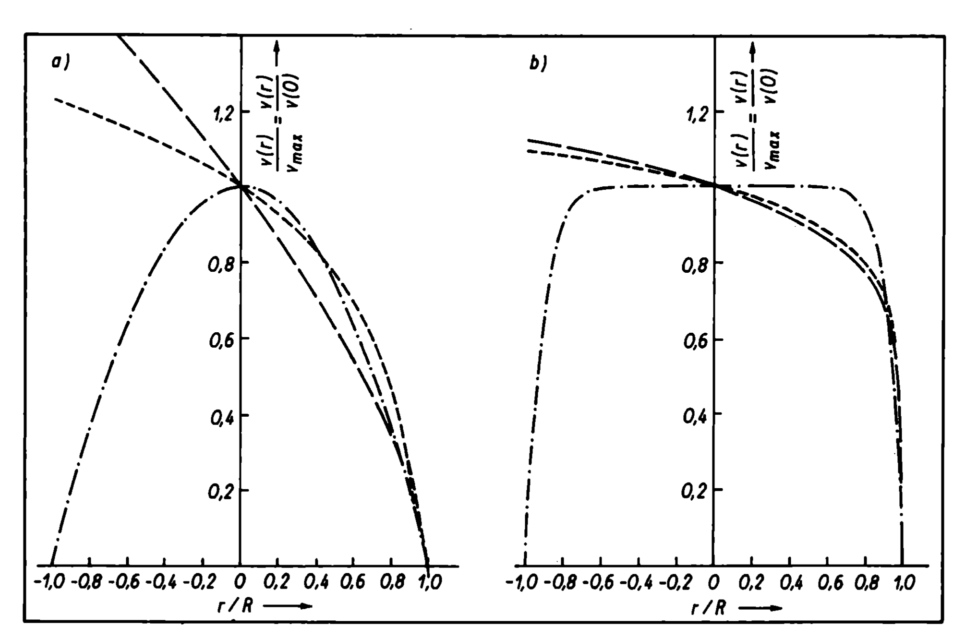


Bild 1.
Strömungsprofile für laminaren und turbulenten Fall

— — — Potenzprofil nach (7); -------- logarithmisches Profil nach (18); —·—·— parabolisches Profil nach (27)

a) laminar, jeweils in Verbindung mit (33)
b) turbulent, $m = 11/2$, $p = 1/6$, $q = 2/15$

4. Beziehungen zwischen den Exponenten *m*, *n* und *p* und dem Faktor *q*

Geht man von (6) aus, wo der k-Faktor mit den Meßwerten $\bar{v}_A$ und $\bar{v}_s$ definiert wurde, so gilt

$$k_m = k_n = k_p = k_q = k\,. \tag{31}$$

Aus (10), (14), (21) und (30) folgen damit die Zusammenhänge

$$m = n - \frac{1}{2} = \frac{1}{p} - \frac{1}{2} = \frac{1}{q} - 2\,. \tag{32}$$

Für den laminaren Fall $m = 1$ ergeben sich daraus

$$n = \frac{1}{p} = 3/2\,, \qquad q = 1/3\,, \qquad k = 3/4 \tag{33}$$

und

	$\bar{v}_A/v_{max}$	$\bar{v}_s/v_{max}$
Potenzprofil	9/20	3/5
logarithmisches Profil	1/2	2/3
parabolisches Profil	1/2	2/3

Im Bild 1 sind diese unterschiedlichen Profile für den laminaren Fall und für einen turbulenten Fall dargestellt.

Die Gegenüberstellung theoretischer und gemessener Geschwindigkeitsverteilungen in [11] und [14] fällt im Vergleich mit Bild 1 — so scheint es — zugunsten der Darstellung (27) aus.

Im Bild 2 sind der k-Faktor und die Geschwindigkeitsverhältnisse $\bar{v}_A/v_{max}$ und $\bar{v}_s/v_{max}$ für die unterschiedlichen Profildarstellungen in Abhängigkeit von m, n, p, q bzw. der Reynolds-Zahl Re aufgetragen (vgl. Bild 16 in [1]).

5. Beziehungen zwischen den Faktoren *k* und *q*, den Exponenten *m*, *n*, *p* und der Reynolds-Zahl *Re*

Die Literatur weist eine Reihe ganz unterschiedlicher empirischer Beziehungen $k = f(Re)$ aus:

$$\left.\begin{array}{lr}
1.\ k_1 = 0{,}889 + 0{,}0091 \lg (Re + 0{,}0001 \lg^2 (Re)) & [9] \\
2.\ k_2 = 0{,}873 + 0{,}0157 \lg Re - 0{,}0004 \lg^2 (Re) & [2] \text{ und } [3] \\
3.\ k_3 = [1{,}125 - 0{,}0115 \lg Re]^{-1} & [3] \\
4.\ k_4 = 0{,}889 + 0.009 \lg Re + 0{,}0001 (\lg Re)^2 & [10] \\
5.\ k_5 = (1{,}119 - 0{,}011 \lg Re)^{-1} & [4] \\
6.\ k_6 = (1 + 0{,}01 \sqrt{6{,}25 + 431\, Re^{-0{,}237}})^{-1} & [4] \\
7.\ k_7 = [1{,}125 - 0{,}0115 \lg (0{,}94\, Re)]^{-1} & [12] \\
8.\ k_8 = 0{,}89 + 0{,}01 \lg Re & [11]\,.
\end{array}\right\} \tag{34}$$

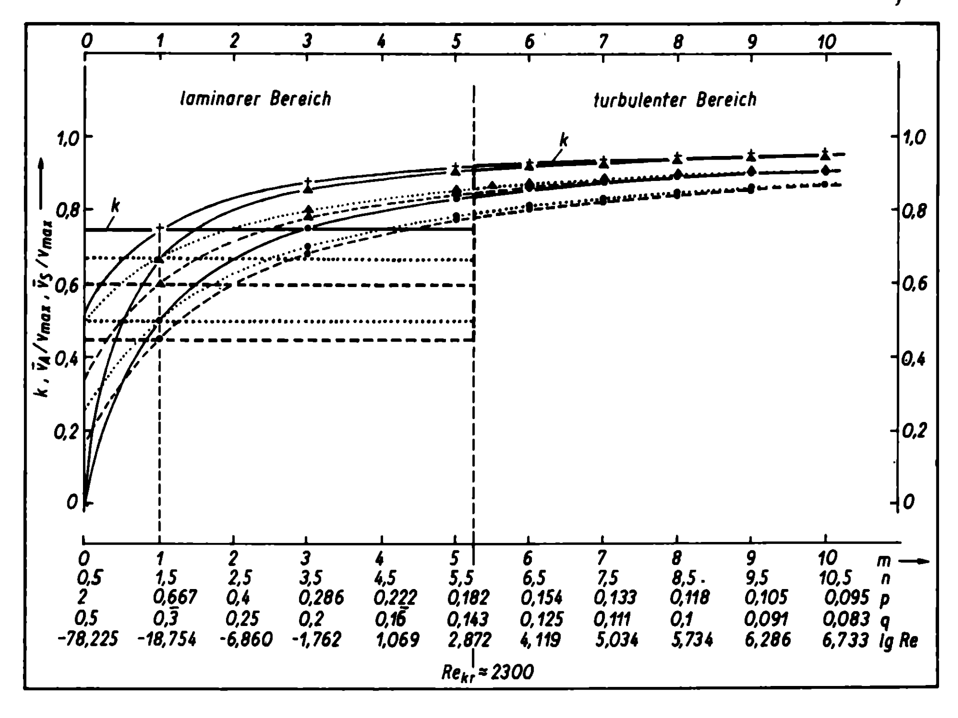
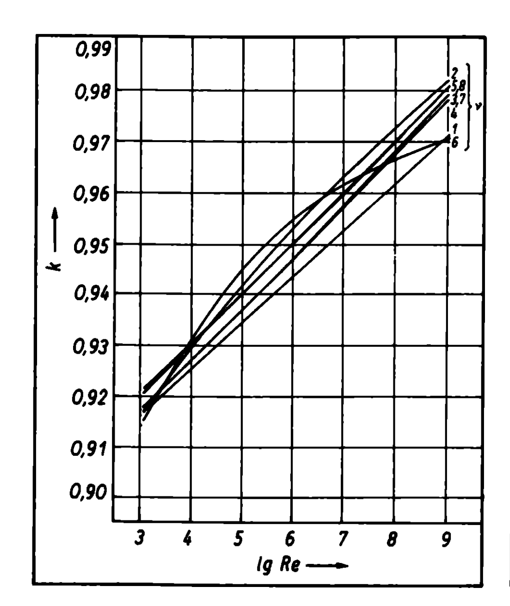


Bild 2.
Darstellung des k-Faktors und der Geschwindigkeitsverhältnisse $\bar{v}_A/v_{max}$ und $\bar{v}_s/v_{max}$ der unterschiedlichen Profildarstellungen in Abhängigkeit von m, n, p, q bzw. $\lg Re$ (gemäß (49))

——— parabolisches Profil, -------- Potenzprofil, ········ logarithmisches Profil

● $\bar{v}_A/v_{max}$; ▲ $\bar{v}_s/v_{max}$; + k-Faktor



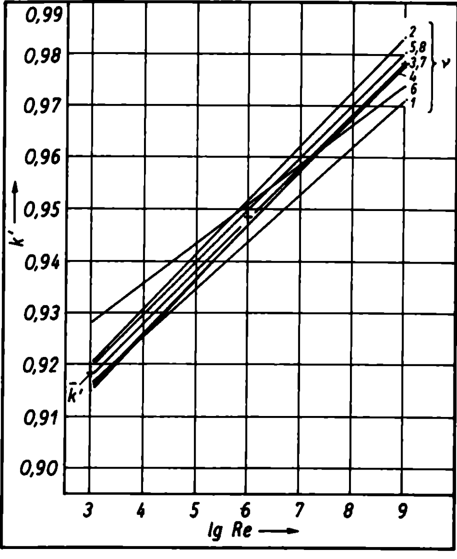


Bild 3.
Unterschiedliche Darstellungen $k = f(\lg Re)$ aus der Literatur

◀ **Bild 4.**
Linearisierte genäherte k'-Verläufe und Darstellung eines Mittelwertes $\bar{k}'$

Die grafische Darstellung dieser Funktionen zeigt Bild 3 für den Bereich $3 \leqq \lg Re \leqq 9$. (vgl. auch Bild 16 in [1] und Bild 2). Die Funktionen 1., 4. und 8. zeigen große Ähnlichkeit, ebenso 3. und 7. Aber auch die ganz unterschiedlichen analytischen Darstellungen 3. und 4. zeigen grafisch eine gute Übereinstimmung. Völlig abweichend verhält sich 6.

Zu bemerken ist, daß alle k_v mit Ausnahme von k_6 bei Extrapolation für $\lg Re > 9$ zu $k > 1$ (!) führen, lediglich k_6 nähert sich einem Wert von $k_6 \approx 0{,}9756 < 1$.

Es liegen, wie man erkennt, zwei empirische Einflüsse vor: einmal in der Darstellung $k = f_1(Re)$ und zum anderen in der Annahme des Strömungsprofils $v(r)$, woraus die Beziehungen $k = f_2(m, n, p, q)$, siehe (10), (14), (21) und (30), resultieren. Durch Verknüpfung dieser Darstellungen kann man in Verbindung mit (32) den allgemeinen Zusammenhang

$$m, n, p, q = f(k) = f_2'(f_1(Re)) \tag{35}$$

angeben.

Aus (10) folgt

$$n_v = -\frac{k_{nv}}{2k_{nv} - 2} = \frac{1}{2(k_{nv}^{-1} - 1)} \tag{36}$$

und aus (30)

$$m_v = -\frac{2k_{mv} - 1}{2k_{mv} - 2} = \frac{2 - k_{mv}^{-1}}{2(k_{mv}^{-1} - 1)}, \tag{37}$$

jeweils für $v = 1, 2, \dots, 8$.

Unter Beachtung von (31) und (32) ergibt sich aus den beiden letzten Darstellungen

$$m_v = n_v(2 - k_v^{-1}) = n_v - 1/2 = f(Re). \tag{38}$$

Diese Ausdrücke legen den Gedanken nahe, (34) in eine einheitliche Form vom Typ

$$k_v' = a_v + b_v \lg Re \tag{39}$$

oder

$$k_v^{-1\prime} = c_v - d_v \lg Re \tag{40}$$

zu bringen. Damit ergeben sich Ausdrücke für $m, n, p, q = f(\lg Re)$, die sich u. a. vorteilhaft auf Rechnern programmieren lassen.

5.1. *Lineare Regression für k_v*

Die z. T. sehr unterschiedlichen Ausdrücke für k_1 bis k_8 lassen sich durch lineare Regression mit dem Ansatz (39) in eine gemeinsame Form bringen. Mit den geschätzten Parametern a_v, b_v ergibt sich eine hinreichend gute Übereinstimmung mit den Originalfunktionen, was sich an den Korrelationskoeffizienten R zeigt. Die Übereinstimmung wurde für den technisch besonders interessierenden Bereich der turbulenten Strömung $3 \leqq \lg Re \leqq 9$ angestrebt. Die geschätzten Funktionen lauten:

$$\left.\begin{array}{lll}
1. & k_1' = 0{,}889 + 0{,}0091 \lg Re & R = 1{,}0000 \\
2. & k_2' = 0{,}8887 + 0{,}0105 \lg Re & R = 0{,}9971 \\
3. & k_3' = 0{,}8847 + 0{,}01044 \lg Re & R = 0{,}9998 \\
4. & k_4' = 0{,}8851 + 0{,}0103 \lg Re & R = 0{,}9998 \\
5. & k_5' = 0{,}8897 + 0{,}01004 \lg Re & R = 0{,}9998 \\
6. & k_6' = 0{,}9048 + 0{,}0077 \lg Re & R = 0{,}9521 \\
7. & k_7' = 0{,}8844 + 0{,}01044 \lg Re & R = 0{,}9998 \\
8. & k_8' = 0{,}89 + 0{,}01 \lg Re & R = 1{,}0000\,.
\end{array}\right\} \tag{41}$$

Bild 4 zeigt die Funktionsverläufe der geschätzten Funktionen. An dieser Stelle sei der Versuch gestattet, aus diesen Funktionen eine Darstellung gemittelter Werte entsprechend (39) anzugeben:

$$\bar{k}' = \bar{a} + \bar{b} \lg Re \tag{42}$$
$$\bar{k}' = 0{,}88737 + 0{,}01012 \lg Re$$

Hierbei wurde k_6 nicht berücksichtigt, da die

— Abhängigkeit von der Reynolds-Zahl Re gegenüber allen anderen hier aufgeführten Funktionen erhebliche Abweichungen aufweist (siehe Bilder 3 bis 7)

— die Reihe der aufgelisteten, aus der Literatur entnommenen Funktionen $k = f(Re)$ sicherlich nicht vollständig ist, so daß die Auswahl eher als willkürlich, wohl aber als repräsentativ angesehen werden kann.

Insgesamt ist anzumerken, daß der Literatur kaum Angaben zu entnehmen sind, die eine kritische Bewertung der den empirisch ermittelten Abhängigkeiten $k = f(Re)$ zugrunde liegenden Meßtechnik und der Meßbedingungen zulassen.

5.2. *Lineare Regression für k^{-1}*

Ausgehend von (34) wurden zunächst k_v^{-1} dargestellt und dann $k_v^{-1\prime}$ als genäherte Geraden im gleichen Intervall $3 \leqq \lg Re \leqq 9$ berechnet. Es ergeben sich

$$\left.\begin{array}{lll}
1. & k_1^{-1\prime} = 1{,}12153 - 0{,}01023 \lg Re & R = 0{,}9999 \\
2. & k_2^{-1\prime} = 1{,}12439 - 0{,}01209 \lg Re & R = 0{,}9965 \\
3. & k_3^{-1\prime} = 1{,}125 - 0{,}0115 \lg Re & R = 1{,}0000 \\
4. & k_4^{-1\prime} = 1{,}12471 - 0{,}01138 \lg Re & R = 1{,}0000 \\
5. & k_5^{-1\prime} = 1{,}119 - 0{,}011 \lg Re & R = 1{,}0000 \\
6. & k_6^{-1\prime} = 1{,}11663 - 0{,}01040 \lg Re & R = 0{,}9610 \\
7. & k_7^{-1\prime} = 1{,}12531 - 0{,}01150 \lg Re & R = 1{,}0000 \\
8. & k_8^{-1\prime} = 1{,}122 - 0{,}0108 \lg Re & R = 0{,}9999\,.
\end{array}\right\} \tag{43}$$

Bild 5 zeigt, daß

— $k_1^{-1\prime}$ im gesamten Bereich die obere Begrenzung ist
— $k_2^{-1\prime}$ die untere Grenzkurve für $\lg Re \gtrsim 4{,}9$
— $k_5^{-1\prime}$ die untere Grenzkurve für $4{,}0 < \lg Re < 4{,}9$
— $k_6^{-1\prime}$ die untere Grenzkurve für $\lg Re \lesssim 4{,}0$

ist.

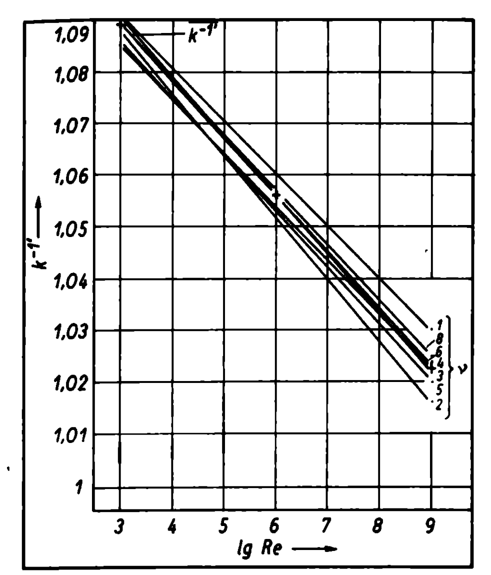


Bild 5. Linearisierte genäherte $k^{-1'}$-Verläufe und Darstellung eines Mittelwertes $\overline{k^{-1'}}$

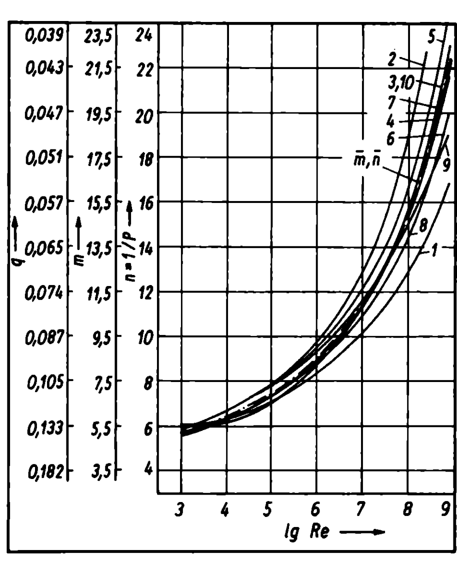


Bild 6. Exponenten m und n in Abhängigkeit von der Reynolds-Zahl (genähert)
$\bar{m}$, $\bar{n}$ Mittelwerte

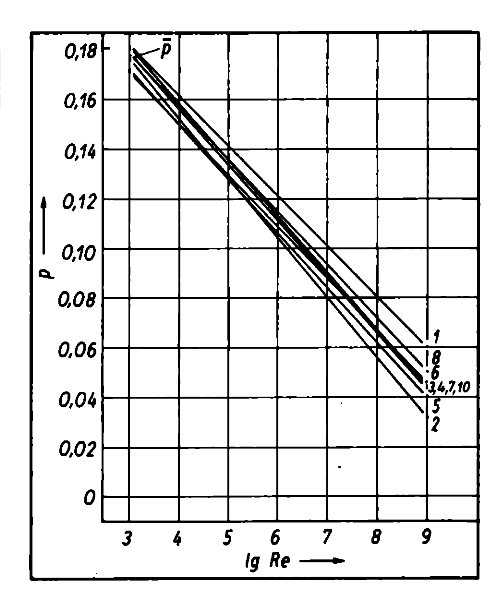


Bild 7. Exponent p in Abhängigkeit von der Reynolds-Zahl (linearisiert, genähert)
$\bar{p}$ Mittelwert

Auch hier erfolgt die Angabe einer aus (43) gewonnenen gemittelten Darstellung entsprechend (40)

$$\overline{k^{-1'}} = \bar{c} - \bar{d} \lg Re ,$$
$$\overline{k^{-1'}} = 1{,}1231 - 0{,}01121 \lg Re . \quad (44)$$

k_6 wurde nicht berücksichtigt.

5.3. Darstellung von m, n, p, q = f(lg Re)

(36) und (37) ergeben in Verbindung mit (43) die Grafik im Bild 6. (vgl. auch Bild 16 in [1]).
In das Bild 6 passen in etwa auch die Angaben aus [4]:

$$9.\ n_9 = 11{,}269 - 3{,}019 \lg Re + 0{,}432 \lg^2 Re , \quad (45)$$

gültig für den Bereich $4 \cdot 10^3 < Re < 2 \cdot 10^6$, und sehr gut die aus [9] und [11]:

$$10.\ \frac{1}{n_{10}} = p_{10} = 0{,}25 - 0{,}023 \lg Re . \quad (46)$$

Mit (44) sollen analog (36), (37) bzw. (38) mittlere Exponentenabhängigkeiten angegeben werden:

$$\bar{n} = f(\lg Re) = [2(\overline{k^{-1'}} - 1)]^{-1} = [2(0{,}1231 - 0{,}01121 \lg Re)]^{-1} , \quad (47)$$

$$\bar{m} = f(\lg Re) = \frac{2 - \overline{k^{-1'}}}{2(\overline{k^{-1'}} - 1)} = \frac{0{,}8769 + 0{,}01121 \lg Re}{2(0{,}1231 - 0{,}01121 \lg Re)} . \quad (48)$$

Die Darstellung (46) zeigt, daß sich nach (15) und in Verbindung mit (36) bzw. (47) und (43) für

$$p = f(\lg Re)$$

fallende Geraden ergeben, was im Bild 7 demonstriert wird. Auch hier kann man, ausgehend von (47), einen gemittelten Exponenten angeben:

$$\bar{p} = 2(\overline{k^{-1'}} - 1) = 0{,}2462 - 0{,}02242 \lg Re . \quad (49)$$

Schlußbemerkungen

Ausgehend von in der Literatur verzeichneten teils theoretischen und teils empirischen Ansätzen für die Darstellung der Strömungsprofile (Abschnitte 2. und 3.) und die Verknüpfung des k-Faktors mit der Reynolds-Zahl (34) wurden eindeutige Beziehungen der in den Darstellungen auftretenden Größen untereinander abgeleitet (Abschnitte 4. und 5.). Mit vertretbaren Näherungen wurden einheitliche und möglichst einfache Funktionsdarstellungen beschrieben und in diesem Zusammenhang Beziehungen mit gemittelten Werten angeboten.

Gemäß (4) und (6) ist die experimentelle Bestimmung des k-Faktors möglich:

$$k = \frac{Q}{\bar{v}_s A} , \quad \bar{v}_A = \frac{Q}{A} . \quad (50)$$

Aus den Daten k, $\bar{v}_s$, $\bar{v}_A$ sind anhand von Bild 2 Rückschlüsse auf vorliegende Strömungsprofile zu ziehen. Die Ausführungen beziehen sich nur auf kreisrunde Rohrquerschnitte mit ungestörter Strömung. Entsprechende Betrachtungen sind für abweichende Querschnitte, z. B. Rechteckquerschnitte, möglich, wie in [11] angedeutet wird.

Literatur

[1] Gätke, J.: Volumenstrommessung in geraden zylindrischen Rohren mit Hilfe akustischer Strömungsgeschwindigkeitsmesser. msr, Berlin 29 (1986) 4, S. 161—168.
[2] Nikuradse, J.: Gesetzlichkeiten der turbulenten Strömung in glatten Rohren. VDI-Forschungsheft Nr. 356. Berlin 1932.
[3] Brand, F. L.: Akustische Verfahren zur Durchflußmessung. VDI-Berichte Nr. 254. Düsseldorf: VDI-Verlag GmbH, 1976.
[4] Kremlëvskij, P. P.: Raschodomery i sčëtčiki količestva (Durchfluß- und Mengenmesser). Leningrad 1975.
[5] Fiedler, O.: Volumenströme und Strömungsgeschwindigkeit turbulenter Strömungen in Rohren verschiedener Rauheit. Wiss. Z. d. WPU Rostock 34 (1985) 3, S. 54—57.
[6] Hütte Band I. 28. Aufl. Berlin: Verlag Wilhelm Ernst & Sohn 1955, S. 778ff.
[7] Durst, F.; Whitelaw, J. H.: Measurements of Mean Velocity, Fluctuating Velocity and Shear Stress in Air Using a Single Channel Optical Anemometer. DISA-Information 12 (1971) 10, S. 11—16.
[8] Durst, F.: Laminar Fully Developed Pipe Flow. Ph. D. Thesis. DISA-Informationen (1976) 3, S. 17—18.
[9] Brand, F. L.: Akustische Verfahren zur Messung von Strömungsgeschwindigkeiten. Voith-Forschung und Konstruktion (1973) 21.
[10] Bernard, H.: Ultraschall-Durchflußmessung. messen—prüfen—automatisieren (1985) 12, S. 676.
[11] Brand, F. L.: Akustische Verfahren zur Durchflußmessung. messen—prüfen—automatisieren (1987) 4, S. 198—205.
[12] Hilpert, J.: Akustisches Durchflußmeßgerät nach dem Laufzeitdifferenzverfahren. Großer Beleg. WPU Rostock, Sektion Technische Elektronik, WB AE, 1985.
[13] Preissler, G.; Bollrich, G.: Technische Hydromechanik. Band 1. Berlin: VEB Verlag für Bauwesen 1985.
[14] Mylvaganam, K. S.: Ultraschall-Durchflußmessung strömender Gase unter niedrigem Druck für einen breiten Meßbereich. tm 56 (1989) 3, S. 112—115.

msr 8887

E. Flämig, U. Kath†, G. Urner, W. Witke

Korrelationsverfahren für die Mehrphasendurchflußmessung

Einleitung

Es existieren eine Vielzahl von Prinzipien und Methoden zur Durchflußmessung und dementsprechend auch eine große Auswahl an kommerziellen Geräten dafür. Trotzdem zählen Durchflußmeßprobleme zu den schwierigsten Aufgaben der Prozeßmeßtechnik. Insbesondere ist die Messung von Mehrphasenströmungen und von verschmutzten Medien mit den meisten Methoden nicht möglich. Auch die Messung von sehr großen und sehr kleinen Durchflüssen sowie Messungen unter extremen Einsatzbedingungen (z. B. Hitze, radioaktive Strahlung, chemische Aggressivität, Schwerelosigkeit) sind heute noch ein schwieriges Problem.
Es wird gezeigt, daß durch Anwendung der Korrelationsmethode einige dieser Meßprobleme gelöst werden können.

1. Meßprinzip

Das Prinzip beruht auf der Messung der Laufzeit eines von der Strömung mitgeführten stochastischen Signals zwischen 2 Sensoren (Bild 1). Die stochastische Abhängigkeit der beiden Sensorsignale wird dabei durch die Kreuzkorrelationsfunktion beschrieben:

$$R_{xy}(\tau) = \lim_{T\to\infty} (1/T) \int_0^T x(t-\tau)\, y(t)\, dt \approx (1/T_M) \int_0^{T_M} x(t-\tau)\, y(t)\, dt\,. \quad (1)$$

Der zum Maximum der Kreuzkorrelationsfunktion gehörende Wert τ_0 entspricht dabei der Laufzeit zwischen den beiden Sensoren. Als Maß zur Beurteilung der Signalähnlichkeit dient der Korrelationskoeffizient:

$$\varrho_{xy}(\tau = \tau_0) = R_{xy}(\tau = \tau_0)/[R_{xx}(\tau = 0)\, R_{yy}(\tau = 0)]^{1/2}\,, \quad (2)$$

$$0 \leqq \varrho_{xy} \leqq 1\,.$$

Die Strömungsgeschwindigkeit $\bar{v}$, der Volumenstrom $\dot{V}$ und der Massestrom $\dot{m}$ ergeben sich daraus zu

$$\bar{v} = l/\tau_0\,, \quad (3)$$

$$\dot{V} = \bar{v}A\,, \quad (4)$$

$$\dot{m} = \varrho_s \bar{v} A\,. \quad (5)$$

Dr.-Ing. EDGAR FLÄMIG (59) studierte von 1951 bis 1952 Elektrotechnik an der TH Dresden und anschließend bis 1958 Meß- und Regelungstechnik an der TH Leningrad. Seit 1958 Tätigkeit im wissenschaftlichen Gerätebau des Zentralinstituts für Kernforschung (ZfK) Rossendorf. 1978 Promotion A auf dem Gebiet elektro-kinetischer Durchflußmessung. Leiter der Hauptabteilung Entwicklung und Konstruktion im wissenschaftlichen Gerätebau (ZfK).

Dr.-Ing. ULRICH KATH studierte von 1967 bis 1971 Wärmetechnik an der TU Dresden. 1971 bis 1977 wissenschaftlicher Mitarbeiter im Kombinat Kraftwerksanlagen (Arbeitsgebiet: Natriumtechnik und -technologie). Ab 1977 wissenschaftlicher Mitarbeiter im ZfK Rossendorf (Arbeitsgebiet: Prozeßmeßtechnik). 1985 Promotion A an der TU Dresden über Massestrombestimmung.
Dr. KATH ist im Dezember 1986 an den Folgen eines tragischen Verkehrsunfalls verstorben.

Dr.-Ing. GERD URNER (49) studierte von 1958 bis 1964 Strömungstechnik an der Fakultät Maschinenwesen der TU Dresden. Seit 1964 Assistent und Oberassistent am WB Meß- und Automatisierungstechnik thermischer Anlagen der Sektion Energieumwandlung der TU Dresden. 1979 Promotion A auf dem Gebiet der Durchflußmeßtechnik. Vorsitzender des FUA „Durchflußmeßtechnik" in der WGMA.

Dipl.-Ing. WILLY WITKE (50) studierte bis 1962 an der Ingenieurschule für Flugzeugbau Dresden. 1963 bis 1969 Abend- bzw. Fernstudium der Regelungstechnik an der TU Dresden. Als Ingenieur von 1962 bis 1966 an der TU Dresden und von 1966 bis 1973 am Institut für Chemieanlagen Dresden tätig. Seit 1973 wissenschaftlicher Mitarbeiter im ZfK Rossendorf.

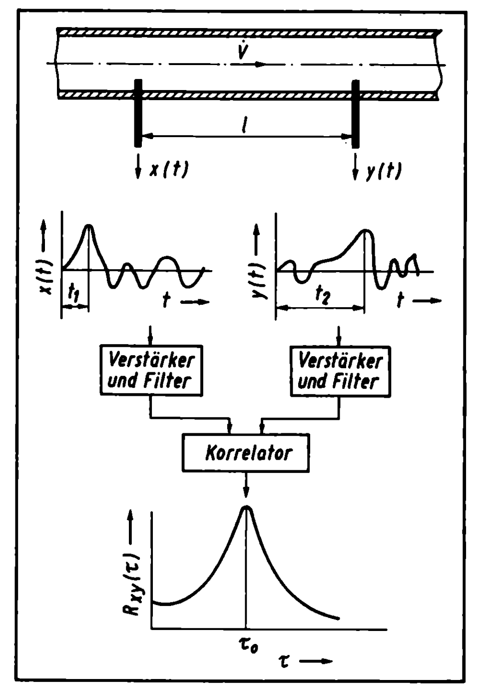


Bild 1. Meßprinzip

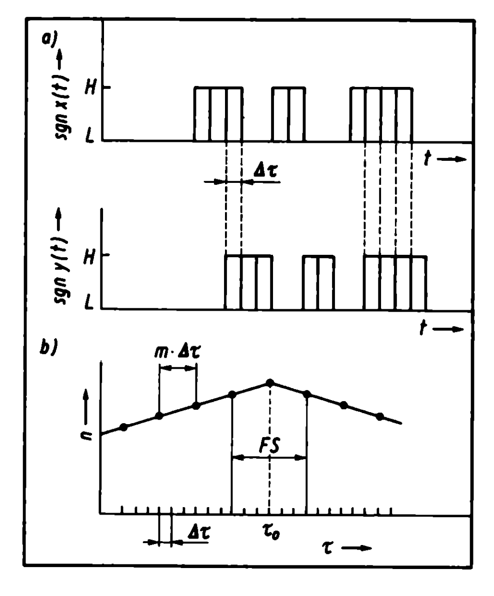


Bild 2. Berechnung der PKF (a) und Bestimmung des Maximums der PKF (b)

Ein für die Prozeßmeßtechnik geeigneter (einfacher und zuverlässiger) Korrelator läßt sich jedoch nur herstellen, wenn zur Berechnung die sogenannte Polaritätskorrelationsfunktion (PKF) benutzt wird. Dazu werden vor dem Korrelieren aus den Signalen $x(t)$ und $y(t)$ in bezug auf ihre Mittelwerte die Funktionen sgn $x(t)$ und sgn $y(t)$ gebildet. Das ist zulässig, weil für Signale mit Gaußscher Amplitudenverteilung gilt:

$$R_{\mathrm{sgn}\,x\,\mathrm{sgn}\,y(\tau)} = (2/\pi) \arcsin [R_{xy}(\tau)/[R_{xx}(\tau)\, R_{yy}(\tau)]^{1/2}\,. \quad (6)$$

Die Nullstellen und Extremwerte werden dabei von der PKF richtig wiedergegeben. Zur Berechnung der PKF bzw. zur Suche ihres Maximums werden in der vorgegebenen Meßzeit T_M entsprechend (2) die binären Signale sgn $x(t)$ und sgn $y(t)$ in $\Delta\tau$-Schritte zerlegt und die Anzahl der Übereinstimmungen der High-Signale als Wert der PKF festgehalten (Bild 2).
Die Berechnung der PKF und die Suche des Maximums bzw. der dazugehörigen Laufzeit τ_0 werden nach einer Prinzipschaltung entsprechend Bild 3 durchgeführt. Durch Verschieben der Werte im Rechenspeicher und anschließende Äquivalenzprüfung wird die

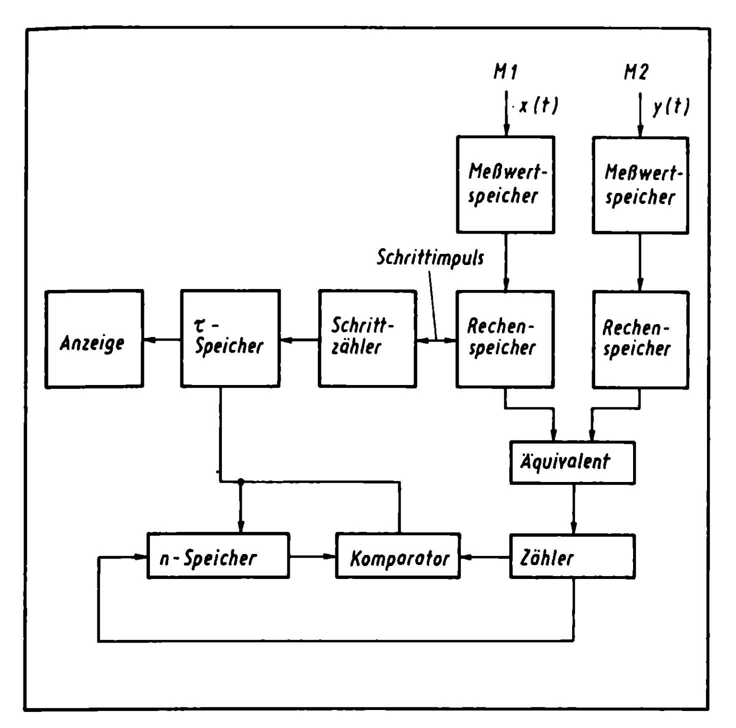


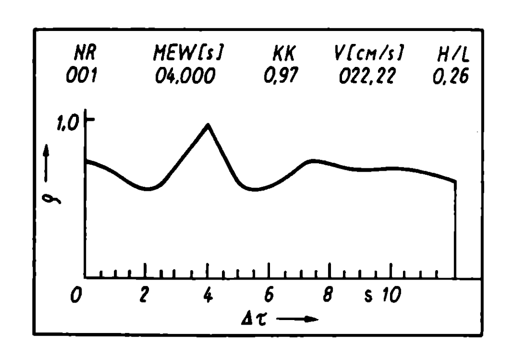
Bild 3. Blockschaltbild des Korrelators

PKF punktweise berechnet. Der nachfolgende Komparator und der n-Speicher haben die Aufgabe der Suche des Maximums in Grobschritten. Zur Einsparung von Rechenzeit wird die genaue Berechnung nur in der Nähe des Maximums mit verkleinerter Schrittweite durchgeführt. Auf der Grundlage dieser Prinzipschaltung wurden ein Hardwarekorrelator und ein Mikrorechnerkorrelator aufgebaut. Beiden Korrelatoren sind einstellbare Hoch- und Tiefpaßfilter und ein Komparator zur Erzeugung der Polaritätssignale sgn $x(t)$ und sgn $y(t)$ vorgeschaltet. Beim Hardwarekorrelator betragen die Meßzeit 10 s, der Wert von $\Delta\tau = 0{,}01$ s und die maximale Zahl der Zeitschritte $n = 400$. Mit dem Mikrorechner MC 80 wurde ein Korrelator aufgebaut, bei dem die Meßzeit bis zu 10 min betragen kann und der mit $\Delta\tau$-Schritten ab 1 ms arbeitet. Mit diesem Mikrorechnerkorrelator können außer der Laufzeit auch der Korrelationskoeffizient und das High-Low-Verhältnis bestimmt werden. Weiterhin ist es möglich, die PKF darzustellen und die Berechnung der mittleren Geschwindigkeit, des Volumenstromes und anderer Größen vorzunehmen (Bild 4).

Die beschriebenen Korrelatoren sind prinzipiell mit beliebigen Sensoren kombinierbar. Jedoch sind gute Meßergebnisse nur bei geeigneter Konstruktion der Sensoren zu erwarten. Die Probleme bei der Konstruktion der Sensoren und die Festlegung der Einsatzgrenzen werden am Beispiel eines thermischen und eines optischen Sensors demonstriert. Zur Beurteilung der Eignung wurden der Korrelationskoeffizient und die Standardabweichung der Laufzeit herangezogen.

2. Meßergebnisse mit thermischen Sensoren

Der prinzipielle Aufbau des thermischen Sensors für Flüssigkeiten ist aus Bild 5 ersichtlich. Er besteht aus einem Rohr mit einer am Mantel angebrachten Heizung, in das (in Flußrichtung nach der Heizung) eine Blende eingebracht wurde. Letztere hat die Aufgabe, das Geschwindigkeitsprofil zu homogenisieren und die Turbulenz zu erhöhen. Als Sensoren wurden radial in die Strömung ragende Thermoelemente mit geringer Zeitkonstante verwendet, die zur Blende einen Abstand von $L = 4 \ldots 5D$ haben. Während einerseits beim Betrieb ohne Heizung mit endlichen Meßzeiten ($T_M < 5$ min) keine verwertbaren Ergebnisse erzielt werden konnten, so zeigt Bild 6 andererseits, daß durch Erhöhen der Heizleistung über einen gewissen Wert hinaus die Korrelationskoeffizienten nur geringfügig weiter anwachsen. Außerdem ist eine Mindestgeschwindigkeit erforderlich, um korrelierbare Signale zu erhalten. Einen ähnlichen Einfluß auf den Korrelationskoeffizienten hat das Blendenöffnungsverhältnis ($m = d^2/D^2$). Der Korrelationskoeffizient nimmt mit steigendem Blendenöffnungsverhältnis zu und erreicht bei $m = 0{,}8$ ein Maximum (Bild 7).



◁ **Bild 4. Polaritätskorrelationsfunktion (nach Rechnerausdruck)**
MEW Meßwert der Laufzeit; *KK* Korrelationskoeffizient; *v* mittlere Geschwindigkeit; *H/L* High-Low-Verhältnis

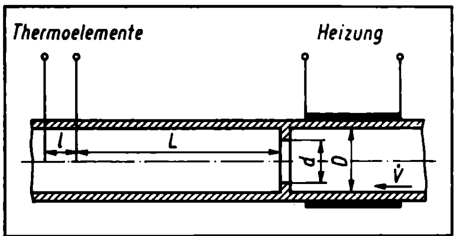


Bild 5. Thermischer Sensor

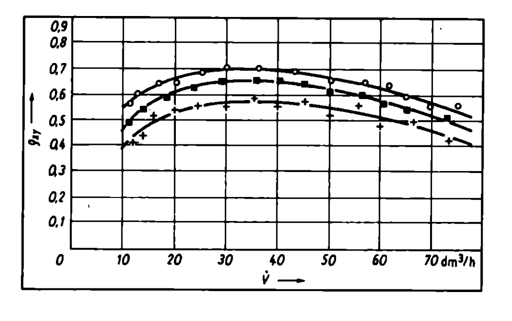


Bild 6. Abhängigkeit des Korrelationskoeffizienten vom Volumenstrom und der Heizleistung
○ $P_1 = 150$ W; + $P_2 = 100$ W; ■ $P_3 = 50$ W; $T_M = 30$ s; $m = 0{,}4$; $l = 15$ mm

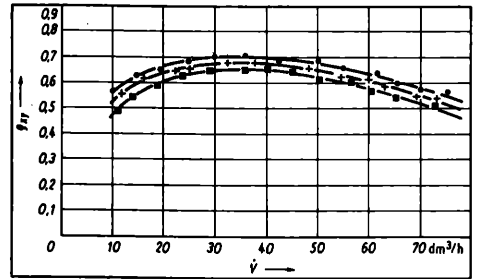


Bild 7. Abhängigkeit des Korrelationskoeffizienten vom Volumenstrom und dem Blendenöffnungsverhältnis
○ $m_1 = 0{,}8$; ■ $m_2 = 0{,}4$; + $m_3 = 0{,}1$; $T_M = 30$ s; $P = 50$ W; $l = 15$ mm

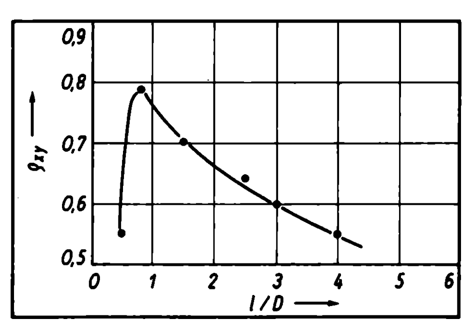


Bild 8. Abhängigkeit des Korrelationskoeffizienten vom relativen Sensorabstand
$T_M = 30$ s; $P = 50$ W; $\dot{V} = 30$ dm³/h; $m = 0{,}8$

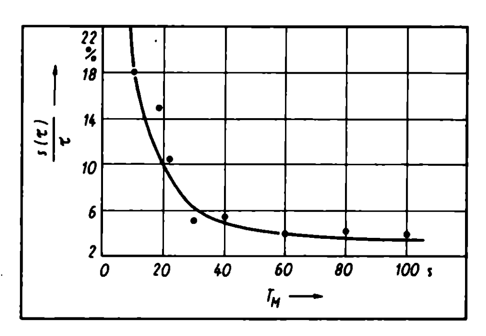


Bild 9. Abhängigkeit der relativen Standardabweichung von der Meßzeit
$P = 50$ W; $\dot{V} = 30$ dm³/h; $m = 0{,}8$; $l/D = 1{,}5$

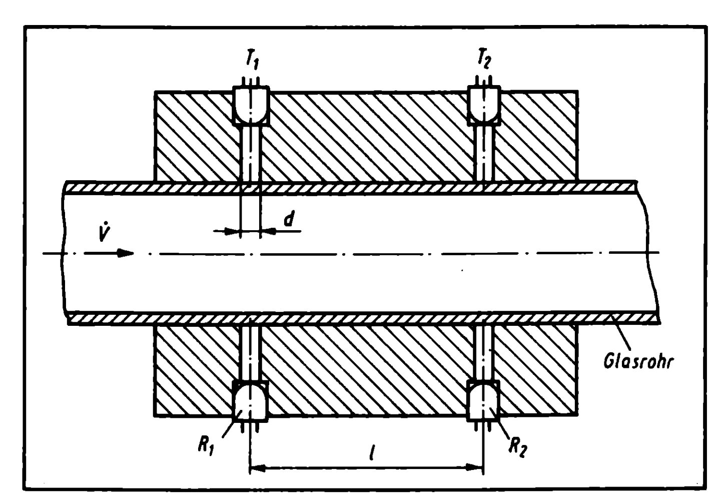


Bild 10. Optischer Sensor

Großen Einfluß auf den Korrelationskoeffizienten hat der Sensorabstand l (Bild 8), der möglichst gering gewählt werden sollte. Bei Thermoelementen darf jedoch ein minimaler Wert nicht unterschritten werden, da unterhalb dieses Grenzwertes der Korrelationskoeffizient durch die Abkühlzeit der Thermofühler und wahrscheinlich auch durch stochastische Schwingungen der Thermoelemente stark abnimmt.

Einen ebenso großen Einfluß übt die Meßzeit aus. Ihre Wirkung auf die relative Standardabweichung und damit auf die Meßgenauigkeit ist im Bild 9 dargestellt. Wie aus theoretischen Abhandlungen bekannt, ist $s(\tau) \sim 1/T_M^n$, so daß für vertretbare Fehler Meßzeiten von 20 ... 30 s notwendig werden. Da die Bandbreite der Thermoelementsignale nur etwa 20 ... 30 Hz betrug, war der Bandbreiteneinfluß experimentell nicht nachweisbar.

Thermische Aufnehmer der beschriebenen Bauart sind nur für kleine Flüssigkeitsströme sinnvoll einsetzbar.

3. Meßergebnisse mit optischen Sensoren

Optische Sensoren für die Korrelationsdurchflußmessung wurden in der Literatur bereits beschrieben. Sie haben jedoch wegen der eingesetzten Linsensysteme einen relativ komplizierten Aufbau. Es wurde deshalb versucht, einen Sensor einzusetzen, der ohne aufwendige optische Bauelemente auskommt. Verwendet wurde deshalb ein Glasrohr (oder ein Metallrohr mit Fenstern), das mit einem Plastmantel umgeben ist (Bild 10). In diesem sind im axialen Abstand l jeweils eine Fotodiode als Sender und gegenüberliegend ein Fototransistor als Empfänger eingebracht. Zur Begrenzung des Lichtstrahles wurden die Austritts- bzw. Eintrittsöffnung auf einen Durchmesser von 3 mm verengt.

Die Messungen wurden mit kleinen Teilchengrößen (Durchmesser 0,08 ... 0,4 mm) und bei geringem Anteil der dispersen Phase durchgeführt (0,08 ... 1,0 Masseprozent bei Flüssig-Fest-Strömungen und kleiner 10 Volumenprozent bei Flüssig-Gasförmig- und Flüssig-Flüssig-Strömungen). Höhere Anteile an disperser Phase brachten keine befriedigenden Ergebnisse mehr. Die Ursache dafür ist in einer raschen Abnahme des Informationsgehaltes der Sensorsignale zu suchen. Unterhalb der angegebenen Grenzwerte hat die Konzentration nur einen geringen Einfluß auf den Korrelationskoeffizienten (Bild 11). Dies gilt prinzipiell. Bei Flüssig-Gasförmig- und bei Flüssig-Flüssig-Strömungen sind die Korrelationskoeffizienten jedoch etwas kleiner. Dies ist auch aus Bild 12 ersichtlich, das die erwartete Abhängigkeit des Korrelationskoeffizienten vom Sensorabstand darstellt.

Die relative Standardabweichung der Laufzeit in Abhängigkeit von der Meßzeit ist im Bild 13 dargestellt. Sie weist die bereits beim thermischen Sensor festgestellte umgekehrte Proportionalität zu T_M auf. Befriedigende Genauigkeiten sind hier bei Meßzeiten $T_M > 10$ s zu erwarten. Durch Verkleinern des Sensorabstandes und des Strahldurchmessers sind noch Verbesserungen möglich. Im Gegensatz zum thermischen Sensor konnte hier der Einfluß der Bandbreite experimentell nachgewiesen werden. Es mußte jedoch festgestellt werden, daß die Grenzfrequenz des Hochpasses einen zusätzlichen Parameter darstellt (Bild 14).

Es kann eingeschätzt werden, daß optische Sensoren mit einfachem Aufbau vor allem zur Messung von Strömungen mit geringem dispersen Anteil gut geeignet sind.

Zusammenfassung

Die Anwendung der Korrelationsmethode gestattet die Durchflußmessung auch in Mehrphasensystemen, die bisher für diese Meßmethode nicht zugänglich waren. Die heute zur Verfügung stehenden Korrelatoren bieten die Voraussetzung zur Lösung vielfältiger Meßprobleme. Eine erfolgreiche Anwendung der Korrelationsmethode ist jedoch nur möglich, wenn geeignete Sensoren zur Verfügung stehen. Sie sollten gut korrelierbare Signale liefern, d. h. die Möglichkeit geringer Sensorabstände (große Korrelationskoeffizienten) bieten

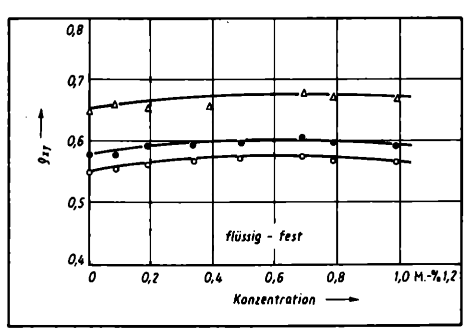


Bild 11. Abhängigkeit des Korrelationskoeffizienten vom Feststoffanteil und dem Sensorabstand
△ l = 10 mm; ● l = 20 mm; ○ l = 30 mm; T_M = 9 s; $\dot{V}$ = 450 dm³/h

Bild 12. Abhängigkeit des Korrelationskoeffizienten vom relativen Sensorabstand und von der Gemischzusammensetzung
● flüssig-fest 0,1 M.-%; △ flüssig-flüssig 2 Vol.-%; □ flüssig-gasförmig 2,5 Vol.-%; T_M = 9 s; $\dot{V}$ = 450 dm³/h

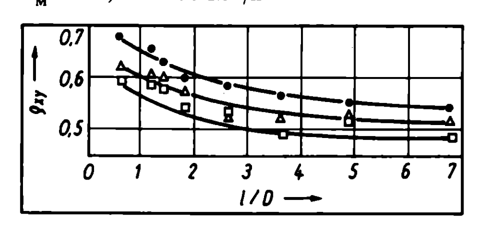


Bild 13. Abhängigkeit der relativen Standardabweichung von der Meßzeit und der Gemischzusammensetzung
● flüssig-fest 0,1 M.-%; △ flüssig-flüssig 2 Vol.-%; □ flüssig-gasförmig 2,5 Vol.-%; $\dot{V}$ = 450 dm³/h; l/D = 1,3

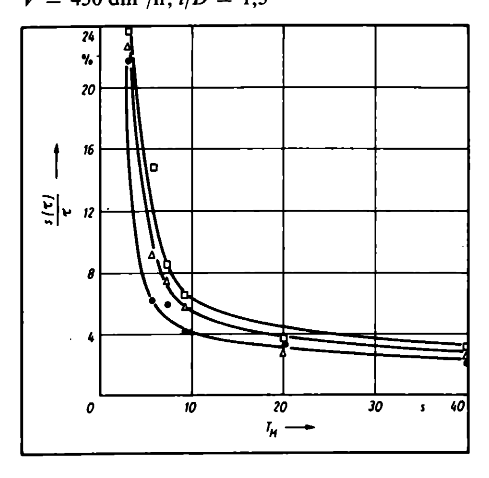
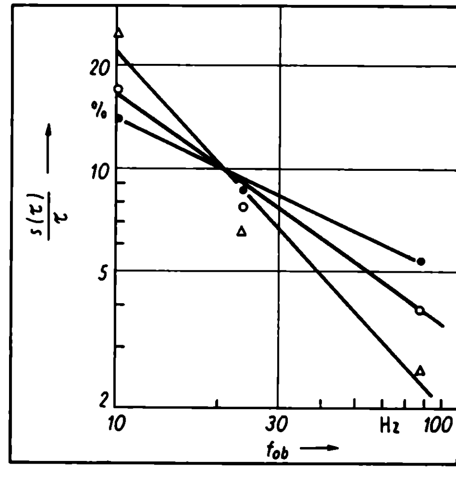


Bild 14. Abhängigkeit der relativen Standardabweichung von der oberen Grenzfrequenz und der Bandbreite
flüssig-fest 0,1 M.-%; ● Δf_{th} = 0,03 Hz; ○ Δf_{th} = 0,3 Hz; △ Δf_{th} = 1 Hz; $\dot{V}$ = 450 dm³/h; l/D = 1,3; T_M = 9 s



und eine hohe Signalbandbreite aufweisen. Nur dann wird es möglich, akzeptable Genauigkeiten und kleine Meßzeiten zu realisieren. Optische Sensoren, auch sehr einfacher Konstruktion, sind dazu gut geeignet.
Außer den genannten Problemen wurde von den in [7] und [10] aufgeführten Autoren auch die Messung von Kohlestaubströmen mit radiometrischen Dichtesonden erfolgreich gelöst.

Literatur

[1] Patentschrift 205554: Verfahren zur Steuerung eines Polaritätskorrelators für Laufzeitmessungen.
[2] Patentschrift DD 216791 A1: Einrichtung zur Messung des Massenstromes von Stäuben.
[3] MASSEN, R.: Berührungslose Geschwindigkeitsmessung durch Korrelation. Nachrichtentechnische Zeitschrift 34 (1981) 5, S. 300—304.
[4] MASSEN, R.: Störsichere Prozeßgrößenerfassung mit einem neuen digitalen Korrelator. Regelungstechnische Praxis 23 (1981) 10, S. 355 bis 359.
[5] MESCH, F.: Geschwindigkeits- und Durchflußmessung mit Korrelationsverfahren. Regelungstechnische Praxis 24 (1982) 3, S. 73—82.
[6] MASSEN, R.: Non contact velocity measurement with a new microprocessor based industrial correlator. IX. IMEKO-Weltkongreß, Berlin (West) 1982.
[7] KATH, U., u. a.: Messung von Strömungsgeschwindigkeiten und Volumen- bzw. Massenströmen nach einem Laufzeitkorrelationsverfahren. msr, Berlin 27 (1984) 4, S. 155—160.
[8] TIEFENTHALER, C.: Digitale Korrelation. Elektronik 34 (1985) 3, S. 65—68 und 34 (1985) 4, S. 77—81.
[9] GEISLER, P.: Digitaler Vorzeichenkorrelator. Elektronik 34 (1985) 22, S. 113—114.
[10] BEIERMANN, N., u. a.: Meßsystem für dichte Gas-Feststoff-Strömungen auf der Basis des 16-Kanal-Polaritätskorrelators. Chem. Techn. 37 (1985) 4, S. 152—155.
[11] PETERS, R., u. a.: Parameterschätzverfahren zur Bestimmung der Durchflußgeschwindigkeit auf der Basis des Korrelationsprinzips. tm 53 (1986) 1, S. 17—24.

msr 8875

M. Klingner

Methode zur Berechnung Semi-Markovscher Zuverlässigkeitsmodelle

Einleitung

Zur analytischen Beschreibung der Zuverlässigkeitseigenschaften eines Systems ist es notwendig, die zufälligen Prozesse (Ausfälle, Reparaturen, Belastungen) in wahrscheinlichkeitstheoretischen Modellen nachzubilden. Indem spezielle Eigenschaften dieser Prozesse, wie Unabhängigkeiten, Vorherrschen bestimmter Verteilungstypen oder stationäres Verhalten, ausgenutzt werden, kann die Modellbildung auf bekannte Klassen stochastischer Prozesse zurückgeführt werden. In der Zuverlässigkeitstheorie dominieren in diesem Zusammenhang die Markov-Prozesse. Die Markov-Eigenschaft drückt mathematisch die Unabhängigkeit des zukünftigen stochastischen Systemverhaltens vom Prozeßgeschehen in der Vergangenheit aus. Einfach in der Berechnung und deshalb in der praktischen Anwendung weit verbreitet sind homogene Markovsche Mehrzustandsmodelle. Die hierfür notwendige Beschränkung auf exponentiell (also vom nachfolgenden Zustandswechsel unabhängig) verteilte Zustandsverweildauern hat allerdings zur Folge, daß alle Zeitabhängigkeiten des zufälligen Systemverhaltens (Alterungsprozesse, Früh- und Spätausfallphasen, nichtexponentiell verteilte Reparaturzeiten) vernachlässigt werden müssen. Eine theoretische Erweiterung dieser Prozesse wurde deshalb zu Beginn der 60er Jahre durch R. PYKE mit der Einführung der Semi-Markovschen Prozesse vorgenommen.
Insbesondere durch Arbeiten von H. STÖRMER [8] war der praktische Bezug zu Problemen der Zuverlässigkeitstheorie hergestellt. Doch trotz der zweifellos großen Bedeutung werden Semi-Markovsche Zuverlässigkeitsmodelle in der Praxis äußerst selten angewendet. Vor allem numerische Probleme bei der direkten Berechnung der nichtstationären Zustandswahrscheinlichkeiten sind der Grund, daß entsprechende Untersuchungen nur über aufwendige Monte-Carlo-Simulation möglich waren.
Im folgenden Beitrag wird ein analytisches Verfahren vorgestellt, das die Berechnung der zeitabhängigen Zustandswahrscheinlichkeiten in beliebig umfangreichen Semi-Markovschen Mehrzustandsmodellen mit geringem Aufwand ermöglicht. Dadurch wird bei entsprechenden statischen Ausgangsdaten eine wesentlich bessere Modellierung des stochastischen Systemverhaltens erreicht. Nach einer kurzen Darstellung der Grundlagen Semi-Markovscher Prozesse werden die Gleichungen zur Berechnung der Zustandswahrscheinlichkeiten im Laplace-Bereich formuliert. Zur Rücktransformation in den Zeitbereich sind die üblichen, auf der Residuenmethode basierenden Verfahren durch die Vielzahl auftretender Polstellen ungeeignet. Zur Lösung wurde deshalb der wenig bekannte Algorithmus nach [3] herangezogen. Unter Ausnutzung der Konvergenzeigenschaften dieses Verfahrens konnten verbesserte Koeffizientensätze errechnet werden, die eine schnelle Rücktransformation ermöglichen. Einige praktische Hinweise zur Approximation des statistischen Ausgangsmaterials und die Berechnung eines Demonstrationsmodells beschließen den Beitrag.

Dr.-Ing. MATTHIAS KLINGNER (34) studierte von 1974 bis 1978 an der TU Dresden, Sektion Informationstechnik. Seit 1978 wissenschaftlicher Mitarbeiter im Dresdener Institutsteil des Zentralinstitutes für Kybernetik und Informationsprozesse der AdW der DDR. 1983 Promotion A auf dem Gebiet der Zuverlässigkeitstheorie.

1. Grundlagen Semi-Markovscher Prozesse

Ausführliche Darstellungen dieser stochastischen Prozesse sind u. a. in [2] und [5] bis [8] zu finden. Im folgenden werden nur die zum weiteren Verständnis wesentlichen Zusammenhänge angeführt.
Der Semi-Markov-Prozeß beschreibt analog zu dem homogenen Markov-Prozeß den zufälligen Wechsel diskreter Zustände $Z(t)$ im Verlauf der Zeit

$$Z(t) \in \{Z_1, Z_2, \dots, Z_N\}, \qquad N \text{ endlich}. \tag{1}$$

In homogenen Markov-Prozessen ist die zufällige Verweilzeit T_i eines Zustandes Z_i exponentiell verteilt. Die Verteilung ist unabhängig vom nachfolgenden Übergang in den Zustand Z_j. Zur vollständigen Charakterisierung des Prozesses werden die Übergangswahrscheinlichkeiten p_{ji} benötigt, die angeben, mit welcher Wahrscheinlichkeit nach Beendigung des Zustandes Z_i ein Wechsel zum Zustand Z_j stattfindet. Für jeden Zustandswechsel, $k = 1, 2, \dots, \infty$, sind die Wahrscheinlichkeiten

$$p_{ji} = P\{Z(k+1) = j, Z(k) = i\} \tag{2}$$

konstant. Sie beschreiben das Verhalten des Prozesses in den sogenannten „Sprungpunkten“.

Im Gegensatz dazu sind in Semi-Markovschen Prozessen beliebige Verteilungsfunktionen $F_{ji}(t)$ für die zufällige Verweilzeit T_{ji} im Zustand Z_i bei nachfolgendem Wechsel nach Z_j zugelassen. Mit den Übergangswahrscheinlichkeiten nach (2) ergibt sich die gewichtete Verteilung $Q_i(t)$ der Verweilzeiten T_i im Zustand Z_i zu

$$Q_i(t) = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{N} Q_{ji}(t) = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{N} p_{ji} F_{ji}(t) . \tag{3}$$

An dieser Stelle läßt sich der Begriff Semi- also „Halb"-Markovsch gut interpretieren. Die eigentliche Markov-Eigenschaft ist in diesen Prozessen nur noch in den „Sprungpunkten" zu finden. Sie stellen vollständige Erneuerungsprozesse dar, denn die Wahrscheinlichkeiten p_{ji} sind von der in der Vergangenheit durchlaufenen Zustandsfolge unabhängig.
Besteht allerdings ein Zustand Z_i schon seit der Zeit Θ_i seit dem letzten Zustandswechsel, so gilt für die bedingten Wahrscheinlichkeiten im allgemeinen

$$F_{ji}(t + \Theta_i \mid \Theta_i) \neq F_{ji}(t + \Theta_i'/\Theta_i') , \qquad \Theta_i' \neq \Theta_i . \tag{4}$$

Die Gleichheit tritt nur bei exponentiell verteilten Zustandsverweildauern T_i auf. Das Übergangsverhalten aus einem Zustand Z_i in einen anderen ist in Semi-Markov-Prozessen von der Vergangenheit, der Verweilzeit Θ_i, abhängig.
Im weiteren soll die Berechnung der Zustandswahrscheinlichkeiten

$$p_i(t) = P(Z(t) = Z_i) \tag{5}$$

im Mittelpunkt der Betrachtung stehen. In homogenen Markov-Prozessen ergeben sich diese Größen aus der Lösung eines Differentialgleichungssystems 1. Ordnung [5] und [8]. Mit der zeitunabhängigen Matrix der Übergangsraten Λ ist

$$\dot{p}(t) = \Lambda p(t) \tag{6}$$

und somit

$$p(t) = \exp \{\Lambda t\} \cdot p(0) . \tag{7}$$

Da in Semi-Markov-Prozessen die Matrix der Übergangsraten durch die nichtexponentiellen Verteilungen $Q_i(t)$ zeitabhängig ist, erweist sich hier die Berechnung als weitaus schwieriger. Im folgenden Abschnitt wird eine Formulierung der Zustandswahrscheinlichkeiten nach (5) im Laplace-Bereich vorgenommen.

2. Berechnung der Zustandswahrscheinlichkeiten im Laplace-Bereich

Wird mit

$$q_{ji}(t) = \frac{dQ_{ji}(t)}{dt} = p_{ji} \frac{dF_{ji}(t)}{dt} \tag{8}$$

die mit p_{ji} gewichtete Dichte der Verweilzeit T_{ji} bezeichnet, so sei

$$\hat{q}_{ji}(p) = \mathfrak{L}\{q_{ji}(t)\} \tag{9}$$

ihre Laplace-Transformierte. Aus der Wahrscheinlichkeitstheorie ist bekannt, daß die Dichte der Summe zweier Zufallsgrößen über die Faltung der Dichten der Einzelergebnisse berechnet wird. Somit ergibt sich die Dichte des Übergangs von $Z(0) = Z_i$ nach $Z(t) = Z_k$ über $Z(t') = Z_j$, $t' < t$, zu

$$q_{kji}(t) = q_{kj}(t) * q_{ji}(t) = \int_0^t q_{kj}(t - x)\, q_{ji}(x)\, dx . \tag{10}$$

(10) in den Laplace-Bereich transformiert, führt zu der einfachen Beziehung

$$\hat{q}_{kji}(p) = \hat{q}_{kj}(p) \cdot \hat{q}_{ji}(p) . \tag{11}$$

Die laplacetransformierten Dichten $\hat{q}_{ji}(p)$ werden in der Matrix

$$Q(p) = \begin{pmatrix} 0 & \hat{q}_{12}(p) \dots \hat{q}_{1N}(p) \\ \hat{q}_{21}(p) & 0 \quad \ddots \quad \vdots \\ \vdots & \ddots \\ \hat{q}_{N1}(p) & \dots\dots\dots\dots 0 \end{pmatrix} \tag{12}$$

und die laplacetransformierten Verteilungsdichten der Zustandsverweildauern

$$\hat{q}_i(p) = \mathfrak{L}\left\{\frac{dQ_i(t)}{dt}\right\} = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{N} \hat{q}_{ji}(p) \tag{13}$$

in der Matrix

$$G(p) = \begin{bmatrix} 1 - \hat{q}_1(p) & 0 & \dots\dots & 0 \\ 0 & 1 - \hat{q}_2(p) & & \vdots \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots\dots\dots\dots & & 1 - \hat{q}_N(p) \end{bmatrix} \tag{14}$$

zusammengefaßt.
Der Vektor der Anfangswahrscheinlichkeiten sei

$$p(0) = \begin{bmatrix} p_1(0) \\ \vdots \\ p_N(0) \end{bmatrix} \quad (15) \qquad \text{und} \qquad \hat{p}(p) = \begin{bmatrix} \mathfrak{L}\{p_1(t)\} \\ \vdots \\ \mathfrak{L}\{p_N(t)\} \end{bmatrix} \quad (16)$$

sei der Vektor der laplacetransformierten Zustandswahrscheinlichkeiten. Durch k-faches Potenzieren von $Q(p)$ lassen sich entsprechend (10) und (11) die transformierten Dichten zur Beschreibung aller k-fachen Übergänge berechnen. Multipliziert man diese Matrix $Q^k(p)$ mit $G(p)$, die die transformierten Dichten der Wahrscheinlichkeiten für das Fortbestehen der Zustände Z_i enthält, so ergibt dies wieder eine Matrix transformierter Wahrscheinlichkeitsdichten. Die Elemente dieser Matrix stellen die laplacetransformierten Dichten des Verweilens in Z_i nach genau k-fachen Übergängen aus den ursprünglichen Zuständen Z_j dar.
Indem alle möglichen Übergänge erfaßt werden, errechnet sich schließlich der Vektor $\hat{p}(p)$ zu

$$\hat{p}(p) = \frac{1}{p}\, G(p) \left(I + \sum_{k=1}^{\infty} Q^k(p)\right) p\,(0) , \qquad I \text{ Einheitsmatrix} . \tag{17}$$

Die Summe der Potenzreihe in (17) läßt sich explizit angeben

$$\hat{p}(p) = \frac{1}{p}\, G(p)\, (I + Q(p)\, (I - Q(p))^{-1})\, p(0) . \tag{18}$$

Bisher wurde vorausgesetzt, daß zur Zeit $t = 0$ gerade ein Zustandswechsel stattgefunden hat. Befindet sich der Prozeß jedoch zur Zeit $t = 0$ schon seit der Zeit Θ_i im Zustand Z_i, sind die Dichten $q_{ji}(t)$ durch die bedingten Dichten [8]

$$q_{ji}(x \mid \Theta_i) = \begin{cases} 0 & \text{für} \quad 0 \leqq x \leqq \Theta_i \\ \dfrac{p_{ji} \cdot q_{ji}(x)}{p_{ji} - Q_{ji}(\Theta_i)} & \text{für} \quad x > \Theta_i \end{cases} \tag{19}$$

für den Erstübergang zu ersetzen. Mit

$$\hat{q}_{ji}(p \mid \Theta_i) = \mathfrak{L}\{q_{ji}(x \mid \Theta_i)\} \tag{20}$$

wird der Vektor

$$\hat{q}(p \mid \Theta_i) = \begin{pmatrix} \hat{q}_{1i}(p \mid \Theta_i) \\ \vdots \\ \hat{q}_{Ni}(p \mid \Theta_i) \end{pmatrix} \tag{21}$$

zusammengestellt. Die Wahrscheinlichkeit, daß zum Zeitpunkt t dieser Prozeß ohne Zustandswechsel im Anfangszustand Z_i verweilt, ist mit (19)

$$1 - Q_i(t \mid \Theta_i) = 1 - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{N} \int_0^t q_{ji}(x \mid \Theta_i)\, dx \tag{22}$$

und deren Laplace-Transformierte

$$\mathfrak{L}\{1 - Q_i(t \mid \Theta_i)\} = \frac{1}{p}\left(1 - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{N} \hat{q}_{ji}(p \mid \Theta_i)\right) = \frac{1}{p}(1 - \hat{q}_i(p \mid \Theta_i)) . \tag{23}$$

Diese Größen in (18) eingesetzt, ergeben für den allgemeinen Fall $\Theta_i > 0$ die Gleichung

$$\hat{p}(p) = \frac{1}{p}\, (G(p) \cdot (I - Q(p))^{-1} \cdot \hat{q}(p \mid \Theta_i) + \\ + (0 \dots 1 - \hat{q}_i(p \mid \Theta_i) \dots 0)^T) \tag{24}$$

zur Berechnung der laplace-transformierten Zustandswahrscheinlichkeiten. Mit wachsender Zahl der Zustandsübergänge und bei

Tafel 1: **Koeffizienten C_k^n des modifizierten Gaver-Algorithmus**

k	C_k^{10} für $n = 10$	C_k^{16} für $n = 16$
1	0,083	−0,000397
2	−32,083	2,133730
3	1279	−551,016
4	−15623,6	33500,161
5	84244,16	−821665,1
6	−236957,5	10076183,76
7	375911,6	−73241382,97
8	−340071,6	339059632,073016
9	164062,5	−1052539536,278571
10	−32812,5	2259013328,583333
11		−3399701984,43
12		35824504461,69
13		−259149081,36
14		1227049828,76
15		−342734555,428571
16		42841819,428571

Verwendung von Verteilungsdichten für die Zustandsverweildauern, die vom Typ der Exponentialdichte abweichen, treten in $\hat{p}_i(p)$ sehr viele, meist mehrfache Polstellen auf.
Die klassische Residuenmethode der Funktionentheorie zur Rücktransformation von (24) in den Zeitbereich ist daher praktisch unbrauchbar. Der modifizierte Gaver-Algorithmus, der im folgenden Abschnitt kurz dargestellt wird, stellt eine unkonventionelle Alternative zu den bekannten Rücktransformationsverfahren dar, die sich insbesondere bei der Berechnung der zeitabhängigen Zustandswahrscheinlichkeiten im Rahmen der Zuverlässigkeitsanalyse bestens bewährt hat. Funktionen mit stark oszillierenden oder sprungförmigen Anteilen werden dagegen durch den Gaver-Algorithmus nicht immer befriedigend rücktransformiert.

3. Rücktransformation der Zustandswahrscheinlichkeiten in den Zeitbereich

Von D. P. Gaver wurde 1966 ein Verfahren [3] zur inversen Laplace-Transformation vorgestellt, daß ausschließlich im reellen Zahlenbereich und ohne Differentiation der Bildfunktion abläuft. Durch eine gegenüber [3] verbesserte Ausnutzung der Konvergenzeigenschaften konnten die in der Tafel 1 angegebenen Koeffizientensätze berechnet werden, die eine schnelle und ausreichend genaue Berechnung ermöglichen.
Dem Rücktransformationsverfahren liegt folgender Gedanke zugrunde.
Eine Funktion $f(t)$ wird in der Form

$$f(t) = \lim_{n \to \infty} \int_0^\infty f(x) \cdot \Delta(x, a, n)\,\mathrm{d}x \tag{25}$$

unter Verwendung einer zweiten, für $n \to \infty$ zur Deltafunktion an der Stelle t entartenden Funktion dargestellt. Diese Funktion $\Delta(x, a, n)$ enthält die Exponentialfunktion und kann wahrscheinlichkeitstheoretisch interpretiert werden

$$\Delta(x, a, n) = \frac{(2n)!}{n!(n-1)!} \cdot a(1 - \mathrm{e}^{-ax})^n \cdot \mathrm{e}^{-nax}, \tag{26}$$

$$\lim_{n \to \infty} \Delta(x, a, n) = \delta(t - x) \quad \text{für} \quad a = \frac{1}{t} \ln 2\,. \tag{27}$$

Gegeben ist ein zufälliger Punktprozeß, dessen stochastische Ereignisse exponentiell mit der Rate a verteilt sind. Insgesamt werden $2n$ Ereignisse als Grundgesamtheit definiert, und man betrachtet die Dichte des $(n + 1)$ten Ereignisses. Für größer werdendes n strebt diese Dichte gegen die δ-Funktion. Der Median der Dichte ist unabhängig von n und liegt bei $\frac{1}{a} \ln 2$. Der Erwartungswert der an den zufälligen Punkten X abgetasteten Funktion $f(X)$ ist

$$E\{f(X)\} = \frac{(2n)!}{n!(n-1)!} \cdot a \int_0^\infty f(x) \cdot (1 - \mathrm{e}^{-ax})^n\, \mathrm{e}^{-nax}\,\mathrm{d}x. \tag{28}$$

Für $n \to \infty$ geht der Erwartungswert mit (27) in

$$\lim_{n \to \infty} E\{f(X)\} = f(t) \tag{29}$$

über. Das Integral in (28) läßt sich noch etwas vereinfachen, indem

$$(1 - \mathrm{e}^{-ax})^n = \sum_{k=0}^{n} (-1)^k \binom{n}{k} \cdot \mathrm{e}^{-kax} \tag{30}$$

eingesetzt und Summation und Integration vertauscht werden

$$E\{f(X)\} = \frac{(2n)!}{n!(n-1)!} \cdot a \cdot \sum_{k=0}^{n} (-1)^k \binom{n}{k} \int_0^\infty f(x) \cdot \mathrm{e}^{-(k+n)ax}\,\mathrm{d}x\,. \tag{31}$$

Das Integral in (31) kann nun als Laplace-Transformierte der Funktion $f(x)$

$$\mathfrak{L}\{f(x)\} = F(p) = \int_0^\infty \mathrm{e}^{-px} \cdot f(x)\,\mathrm{d}x \tag{32}$$

an der Stelle

$$p = (k + n)\,a$$

interpretiert werden. Man erhält somit

$$E\{f(X)\} = \frac{(2n)!}{n!(n-1)!} \cdot a \cdot \sum_{k=0}^{n} (-1)^k \cdot \binom{n}{k} \cdot F((k + n)\,a) \tag{33}$$

und mit (29)

$$f(t) = \lim_{n \to \infty} \frac{(2n)!}{n!(n-1)!} \cdot a \cdot \sum_{k=0}^{n} (-1)^k \cdot \binom{n}{k} F(p) \tag{34}$$

für

$$p = \frac{k + n}{t} \ln 2 \tag{35}$$

eine Rücktransformationsbeziehung für $F(p)$. Die Koeffizienten in (34) lassen sich noch weiter zusammenfassen, so daß schließlich die Form

$$f(t) = \lim_{n \to \infty} a \cdot \sum_{k=0}^{n} \bar{C}_k^n F((k + n)\,a) \tag{36}$$

erreicht wird. Diese Beziehung ist für die praktische Berechnung noch nicht brauchbar, da $f(t)$ nur für entsprechend großes n ausreichend genau approximiert wird. In [3] wurde der qualitative Zusammenhang zwischen Approximationsfehler und der Größe von n angegeben. Unter Ausnutzung dieser Abhängigkeiten konnten Koeffizientensätze C_k^n errechnet werden, die eine ausgezeichnete Konvergenz des Verfahrens im Rahmen der Berechnung Semi-Markovscher Zuverlässigkeitsmodelle für Werte von n zwischen 10 und 16 gewährleisten.

$$f(t) \approx a \sum_{k=1}^{n} C_k^n \cdot F(k \cdot a)\,. \tag{37}$$

In der Tafel 1 sind die Koeffizientensätze für $n = 10$ bzw. $n = 16$ zusammengestellt.
Die Rücktransformationsgleichung (27) auf die laplacetransformierten Zustandswahrscheinlichkeiten (24) angewandt, führt zu

$$p(t) \approx \frac{1}{t} \ln 2 \cdot \sum_{k=1}^{16} \cdot C_k^{16} \hat{p} \left(\left(\frac{k}{t} \ln 2 \right) \right). \tag{38}$$

Im letzten Abschnitt dieses Beitrags sollen noch einige Hinweise zur praktischen Darstellung der Verteilungsdichten $q_{ji}(t)$ gegeben werden. Prinzipiell ist in dem vorgestellten Semi-Markov-Modell jede Verteilungsdichte, die im Laplace-Bereich in expliziter Form dargestellt werden kann, verwendbar. Allerdings treten größere Probleme auf, will man die Vorbedingung entsprechend (19) berücksichtigen. Durch die Linksverschiebung der Dichte um die Zeit Θ_i geht der kausale Charakter der Funktion verloren. Somit kann sie durch die einseitige Laplace-Transformation nicht mehr dargestellt werden.
Eine erste Lösungsmöglichkeit besteht darin, die bedingten Dichten in (24) über geeignete numerische Integrationsverfahren im Zeit-

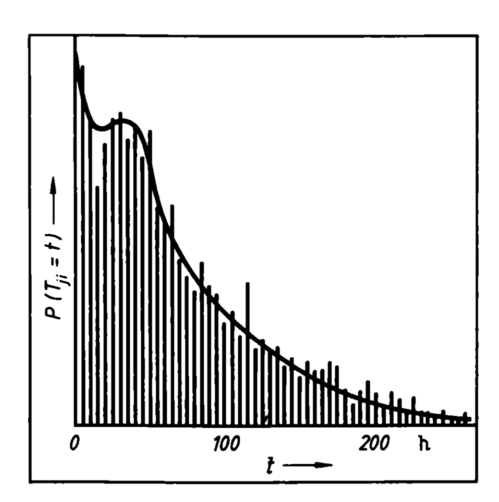


Bild 1. Empirische Häufigkeitsverteilung von T_{ji} und ihre Approximation

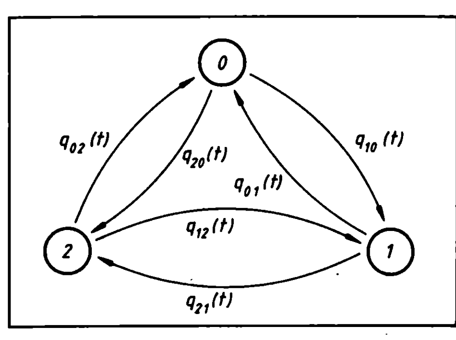


Bild 2. Zustandsdiagramm für Semi-Markovsches 3-Zustandsmodell

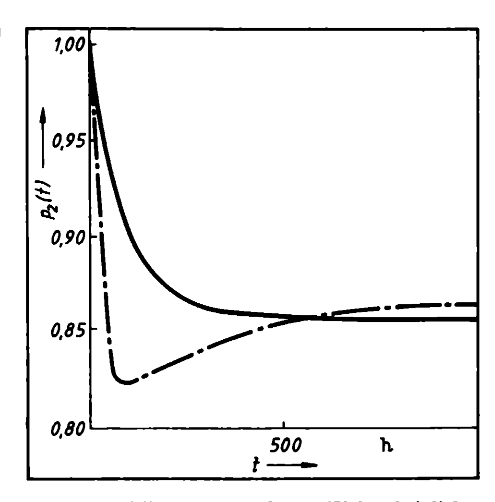


Bild 3. Zeitlicher Verlauf der Wahrscheinlichkeiten für den funktionsfähigen Zustand
—·— Semi-Markov-Prozeß; ——— homogener Markov-Prozeß

bereich mit der restlichen laplacerücktransformierten Funktion zu falten. Dieses Vorgehen ist zwar rechenzeitaufwendig, beschränkt sich jedoch im Vergleich zu der im folgenden Abschnitt erläuterten geschlossenen Lösungsform nicht auf die Verwendung spezieller Verteilungsdichten.

4. Approximation der Dichten und Berechnung eines Demonstrationsbeispiels

Die Ausgangsdaten für Semi-Markovsche Zuverlässigkeitsmodelle bilden in vielen Fällen empirische Häufigkeitsverteilungen über die zufällige Zustandsdauer T_{ji} im Zustand i vor einem Übergang nach j (Bild 1).
In einem ersten Schritt sind die Verteilungen durch geeignete stetige Dichten $f_{ji}(t)$ zu approximieren. Verwendet man hierzu gemischte Exponential- bzw. Gammadichten, so lassen sich die bedingten Dichten (19) im Laplace-Bereich geschlossen angeben

$$f_{ji}(t) = \sum_{k=1}^{l} w_k \gamma(t, \mu_k, K_k), \tag{39}$$

$$\sum_{k=1}^{l} w_k = 1, \tag{40}$$

$$\gamma(t, \mu, K) = \frac{\mu^K t^{K-1}}{(K-1)!} \cdot e^{-\mu t}. \tag{41}$$

Für $K = 1$ ergibt (41) die bekannte Exponentialdichte, für großes K nähert sie sich der Normalverteilung.
An dieser Stelle sei erwähnt, daß die Qualität der Approximation einen wesentlichen Einfluß auf die Modellgenauigkeit hat. Zur Parametersuche wurden das Gauß-Seidel-Verfahren, Gradientenverfahren sowie stochastische Suchverfahren mit dem Ziel der Minimierung der quadratischen Abweichungen zwischen empirischer Häufigkeitsverteilung und approximierter Dichte eingesetzt. Die Linksverschiebung der Gammadichte um die Zeit Θ führt zu

$$\gamma((t+\Theta), \mu, K) = \frac{\mu^K}{(K-1)!}(t+\Theta)^{K-1} \cdot e^{-\mu(t+\Theta)}$$
$$= \frac{\mu^K}{(K-1)!} e^{-\mu\Theta} \cdot e^{-\mu t} \sum_{l=0}^{K-1} \binom{K-1}{l} \Theta^l t^{K-l-1} \tag{42}$$

Über partielle Integration gewinnt man die Transformationsbeziehung

$$\mathfrak{L}\{t^{K-l-1} \cdot e^{-\mu t}\} = (p+\mu)^{-(K-l)} \cdot (K-l-1)! \tag{43}$$

Der gesamte Ausdruck (42) in den Laplace-Bereich überführt, liefert letztlich

$$\mathfrak{L}\{\gamma((t+\Theta), \mu, K)\} = \frac{\mu^K}{(K-1)!} e^{-\mu\Theta} \sum_{l=0}^{K-1} \binom{K-1}{l} \Theta^l \frac{(K-l-1)!}{(p+\mu)^{K-l}}. \tag{44}$$

In rekursiver Form ist (44) mit

$$x_0 := (p+\mu)^{-K}, \tag{45}$$

$$x_n := x_{n-1} \cdot (p+\mu)\,\Theta/n \tag{46}$$

gemäß:

$$\mathfrak{L}\{\gamma((t+\Theta), \mu, K)\} = \mu^K \cdot e^{-\mu\Theta} \sum_{n=0}^{K-1} x_n \tag{47}$$

zu berechnen.
Auch das im Nenner der bedingten Dichte (19) auftretende Integral läßt sich für gemischte Exponential- bzw. Gammadichten explizit angeben. Das Integral über eine Gammadichte ergibt im Zeitbereich

$$\int_0^{\Theta} \gamma(t, \mu, K)\, dt = e^{-\mu\Theta} \sum_{l=0}^{K-1} \frac{(\mu\Theta)^l}{l!}. \tag{48}$$

Mit diesen Beziehungen kann der gesamte laplacetransformierte Ausdruck (24) in einem Schritt über den Gaver-Algorithmus rücktransformiert werden.
Zur Demonstration der Vorzüge Semi-Markovscher Modellbildung wird ein 3-Zustandsprozeß betrachtet. Im Zustandsdiagramm Bild 2 sind die Übergänge aus den Zuständen *2* (volle Funktionsfähigkeit), *1* (teilweise Funktionsfähigkeit) und *0* (Totalausfall) dargestellt.
In der Tafel 2 wurden die Parameter für die Dichten $q_{ji}(t)$ zusammengefaßt, die sich aus jeweils zwei gemischten Gammadichten zusammensetzen

$$q_{ji}(t) = p_{ji} f_{ji}(t) = p_{ji} \cdot (w \cdot \gamma(t, \mu_1, k_1) + (1-w) \cdot \gamma(t, \mu_2, k_2)). \tag{49}$$

Tafel 2: Parameter der Dichten der Zustandsverweildauern

$q_{ji}(t)$	w	μ_1	K_1	μ_2	K_2	p_{ji}	$E\{T_{ji}\}$
$q_{02}(t)$	0,3	0,001	1	0,002	2	0,3	1000 h
$q_{12}(t)$	0,8	0,008	1	0,0005	1	0,7	500 h
$q_{01}(t)$	0,8	0,008	1	0,0005	1	0,1	500 h
$q_{21}(t)$	1	0,1	5			0,9	50 h
$q_{10}(t)$	1	0,04	2			0,2	50 h
$q_{20}(t)$	0,3	0,017	1			0,8	100 h

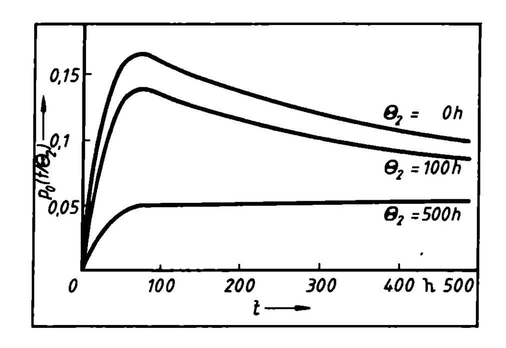


Bild 4.
Einfluß der Vorbedingung auf den zeitlichen Verlauf der Zustandswahrscheinlichkeiten für den Totalausfall

Tafel 3: Übergangsraten homogener Markov-Prozeß

λ_{02}	0,00046	λ_{21}	0,00947
λ_{12}	0,00108	λ_{10}	0,00222
λ_{01}	0,00105	λ_{20}	0,00889

Über die mittleren Verweilzeiten und Übergangswahrscheinlichkeiten lassen sich die Übergangsraten für ein äquivalentes homogenes Markov-Modell bestimmen.
Für 1000 h in der Vorschau wurden im Bild 3 die Wahrscheinlichkeiten für den voll funktionsfähigen Zustand des Systems ermittelt. Der qualitative Unterschied beider Modelle wird vor allem in der Anfangsphase deutlich. Variiert man die Vorbedingung Θ_2, so ergeben sich andere Verläufe der Zustandswahrscheinlichkeiten. Im Bild 4 wurde das unterschiedliche Übergangsverhalten in den Totalausfallzustand während der Früh- und Spätausfallphase dargestellt. Nach etwa 500 h sind die Frühausfälle im System überwunden.
Der rechentechnische Aufwand zur Berechnung dieses Beispiels blieb so gering, daß die Kapazität eines programmierbaren Taschenrechners ausreichte.

Zusammenfassung

Die praktische Anwendung Semi-Markovscher Mehrzustandsmodelle war bisher sehr rechenaufwendig. In diesem Beitrag wurden Verfahren entwickelt, die den Berechnungsaufwand stark reduzieren und damit eine analytische Behandlung erst ermöglichen. Durch die Anwendung Semi-Markovscher Zuverlässigkeitsmodelle kann das stochastische Systemverhalten sehr detailliert nachgebildet werden.

Literatur

[1] DOETSCH, G.: Handbuch der Laplace-Transformation, Bd. I. Basel: Verlag Birkhäuser 1950.
[2] FELLER, W.: An introduction to probability theory and its applications. New York: J. Wiley & Sons 1968.
[3] GAVER, D. P.: Observing stochastic processes and approximate transform inversion. Operation Research 14 (1966) 3, pp. 444—459.
[4] KLINGNER, M.: Mehrwertige Modelle zur Beschreibung der Zuverlässigkeit und Leistungsfähigkeit technischer Systeme. ZKI-Information 3/1987.
[5] KOSLOV, B. A.; USCHAKOV, I. A.: Handbuch zur Berechnung der Zuverlässigkeit in Elektronik und Automatisierungstechnik. Berlin: Akademie-Verlag 1978.
[6] PYKE, R.: Markov reneval processes: Definitions and preliminary properties. Markov reneval processes with finitely many states. Ann Math. Statist 32 (1961) 4, pp. 1231—1259.
[7] REINSCHKE, K.: Zuverlässigkeit von Systemen. Bd. 1. Berlin: VEB Verlag Technik 1973.
[8] STÖRMER, H.: Semi-Markoff-Prozesse mit endlich vielen Zuständen. Berlin/Heidelberg/New York: Springer-Verlag 1970.

msr 8877

R. Langmann

Realisierung digitaler Steuer- und Regelalgorithmen für Präzisionsstellantriebe mit dem Mikroprozessor UB 8002

Einleitung

Der zunehmende Einsatz hochdynamischer Präzisionsstellantriebe im Bereich der Montageautomatisierung sowie in der Industrierobotertechnik erfordert hohe Rechenleistungen der zugeordneten Mikroprozessoren für die schnelle Abarbeitung digitaler Steuer- und Regelalgorithmen. Die vom Kombinat Mikroelektronik produzierte 16-bit-CPU UB 8002 ist aufgrund ihrer speziellen Eigenschaften, wie leistungsfähige Arithmetikbefehle, umfangreicher Registersatz, für derartige Aufgaben besonders gut geeignet.
Der vorliegende Beitrag soll die Leistungsfähigkeit des UB 8002 anhand der erforderlichen Software für die Weginterpolation und Lageregelung eines Stellantriebes verdeutlichen.

Dr.-Ing. REINHARD LANGMANN (38) studierte von 1968 bis 1974 am Leningrader Elektrotechnischen Institut, Fachrichtung Halbleiterelektronik. 1974 bis 1980 Tätigkeit auf dem Gebiet des wissenschaftlich-technischen Rechtsschutzes für Erfindungen im AfEP/Berlin. 1980 bis 1987 Entwicklung von IR-Steuerungen im VEB Robotron-Rationalisierung Weimar, ab 1983 Abteilungsleiter. 1988 Promotion A an der TH Ilmenau. Gegenwärtig wissenschaftlicher Mitarbeiter im Institut für Automatisierung der AdW der DDR, Abt. Steuerungssysteme.

1. Technisches Problem

Ein Stellantrieb, der z. B. für die Realisierung einer Industrieroboterachse geeignet sein soll, muß folgende globale Aufgaben erfüllen:

— überschwingfreie Bewegung zwischen einer Start- und einer Zielposition (≙ PTP (point-to-point)-Bewegung)
— exaktes Nachführen des Antriebs auf einer vorgegebenen Bewegungsbahn (≙ CP (continuous path)-Bewegung)
— Lageregelung im Zustand „Position halten".

Als hardwaremäßige Voraussetzung für die Lösung dieser Aufgaben wurde ein mikroprozessorgesteuertes Positioniersystem entwickelt [1], bei dem alle rechenintensiven Steuer- und Regelalgorithmen in einem UB-8002-Minimalsystem — als Servocontroller bezeichnet — nach Bild 1 realisiert werden können. Der Antrieb selbst besteht aus einem Gleichstrommotor GMP 52 mit gechoppertem Transistorleistungsverstärker sowie einem inkrementalen Winkelmeßsystem IGR-M2/960. Für das gegebene Einsatzbeispiel waren weitere Forderungen zu berücksichtigen.

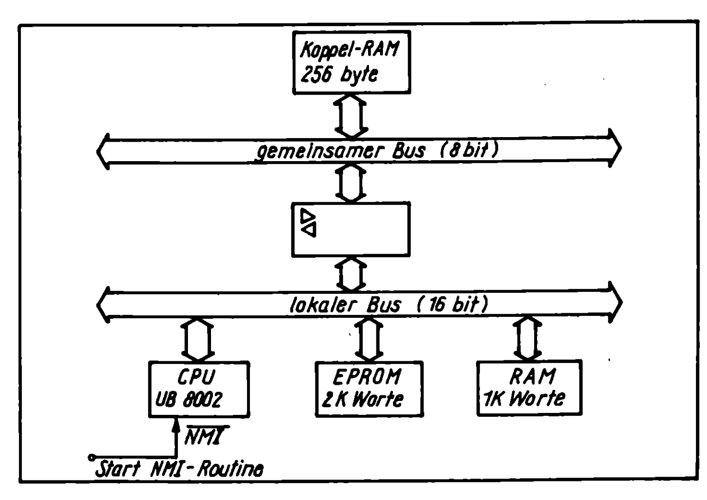


Bild 1. Prinzipstruktur des Servocontrollers mit UB 8002

Die Dynamik der Lageregelung sollte unter Berücksichtigung eines variablen Lastträgheitsmomentes an die Bewegungsaufgabe anpaßbar sein. Ein geeigneter Regelalgorithmus ergibt sich nach [2] mit

$$u(k) = u(k-1) + r_0 \cdot e(k) - r_1 \cdot e(k-1) + r_2 \cdot e(k-2), \quad (1)$$

$$e(k) = \varphi_{SOLL}(k) - \varphi_{IST}(k)$$

$u(k)$ Stellgröße zum Zeitpunkt k; $e(k)$ Positionsabweichung zum Zeitpunkt k; r_0, r_1, r_2 Reglerparameter

Stellt man die Reglerparameter in der Form

$$r_0, r_1, r_2 = \frac{r_0^*, r_1^*, r_2^*}{p} \quad (2)$$

dar, so können die Dynamik des Reglers über den Parametersatz r_0^*, r_1^*, r_2^* eingestellt und das Lastträgheitsmoment über den Divisor p berücksichtigt werden.

Für eine überschwingfreie Bewegung zwischen Start- und Zielposition ist es erforderlich, daß ein Führungsgrößengenerator Wegstützpunkte erzeugt. Die Stützpunkte sollten durch einenWeginterpolator im Reglertakt k nach folgendem Algorithmus gebildet werden:

$$\varphi(k) = \varphi(j-1) + 2 \cdot \frac{\varphi(j) - \varphi(j-1)}{m^2} \cdot n^2 \quad \text{für } n \leqq \frac{m}{2}, \quad (3)$$

$$\varphi(k) = \varphi(j) - 2 \cdot \frac{\varphi(j) - \varphi(j-1)}{m^2} \cdot (m-n)^2 \quad \text{für } \frac{m}{2} < n < m \quad (4)$$

$\varphi(k)$ Winkelposition zum Zeitpunkt k; $\varphi(j)$ Winkelposition zum Zeitpunkt j ($\triangleq$ Zielposition); m Anzahl der Stützpunkte zwischen Start- und Zielposition; $n = 1, 2, \ldots, m$

(3) und (4) ergeben das bekannte rampenförmige Geschwindigkeitsprofil in der Beschleunigungs- und Bremsphase (Bild 2). Im Unterschied zu sonst üblichen Bewegungsprofilen hat dieses Profil keine Konstantphase. Geschwindigkeit und Beschleunigung des Antriebs werden nur noch über einen Parameter, die Bewegungszeit zwischen Start- und Zielposition $\Delta T_{BEW} = m \cdot \Delta T_R$ (ΔT_R Lageregeltakt), festgelegt.

Für CP-Bewegungen muß bei Industrieroboterachsen davon ausgegangen werden, daß der Führungsgrößengenerator die Bahnstützpunkte im Interpolationstaktraster $\Delta T_I \geqq 20$ ms erzeugt. Ursache für diese hohen Taktzeiten sind rechenaufwendige Transformationen für Stützpunkte vom äußeren Koordinatensystem (häufig kartesische Koordinaten) in das Gelenkkoordinatensystem des Roboters. Bezogen auf den Lageregeltakt erzeugt diese zeitlich grobe Vorgabe der Führungsgröße für den Regler Schwingungen, die das Bewegungsverhalten des Antriebs erheblich beeinträchtigen.

Zur Beseitigung dieser Nachteile ist eine Nachinterpolation für den Antrieb zur Erzeugung möglichst stetiger Führungsgrößenvorgaben im Lageregeltakt erforderlich. Üblicherweise wird dazu ein linearer Interpolationsalgorithmus benutzt, bei dem jedoch Beschleunigungsstöße der Führungsgröße im Zeitraster ΔT_I auftreten. Bild 3 verdeutlicht diesen Sachverhalt. Der Einsatz höherwertiger Interpolationsalgorithmen scheitert bei der Verwendung von 8-bit-Mikroprozessoren an der nicht ausreichenden Rechenkapazität je Zeiteinheit.

Aufgrund der vorliegenden Hardwarestruktur mit einer 16-bit-CPU konnte als Interpolationsalgorithmus für die Nachinterpolation ein Algorithmus 2. Ordnung (Newtonscher Interpolator) gewählt werden. Folgende Beziehung ist damit zu implementieren:

$$\varphi(k) = \varphi(j-1) + \frac{\varphi(j) - \varphi(j-1)}{m} \cdot n - [\varphi(j+1) - 2\varphi(j) + \varphi(j-1)] \cdot \frac{n(m-n)}{2 \cdot m^2}. \quad (5)$$

Bild 4 stellt die Wirkung von (5) dar. Bei beschleunigtem Führungsgrößenverlauf treten im Zeitraster ΔT_I nur noch Sprünge in der Führungsbeschleunigung auf. Der Bahnverlauf wird gegenüber dem nach Bild 3 (Linearinterpolator) geglättet.

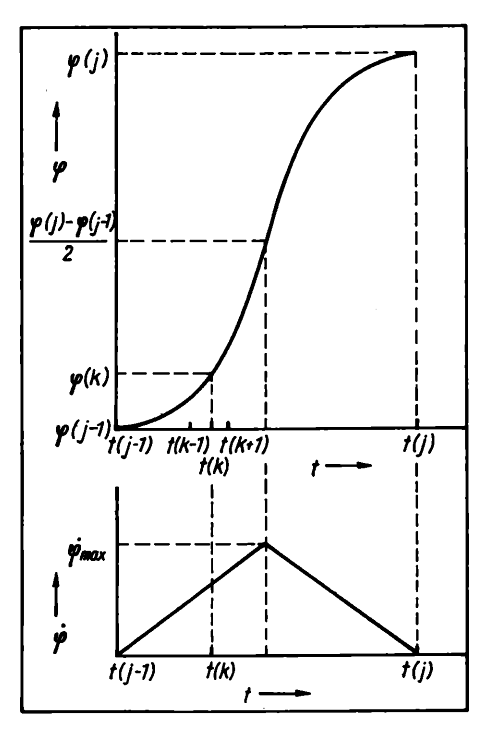


Bild 2. Bahnprofil zwischen Start- und Zielposition gemäß (3) und (4)
$\varphi(j-1)$ Startposition; $\varphi(j)$ Zielposition

2. Programmtechnische Realisierung

Die eingesetzte 16-bit-CPU UB 8002 entspricht der nichtsegmentierten Version des international bekannten Z 8000. Mit dieser CPU können aufgrund ihres umfangreichen Allzweck-Register-

Bild 3. Bahnprofil der Führungsgröße für eine Linearinterpolation

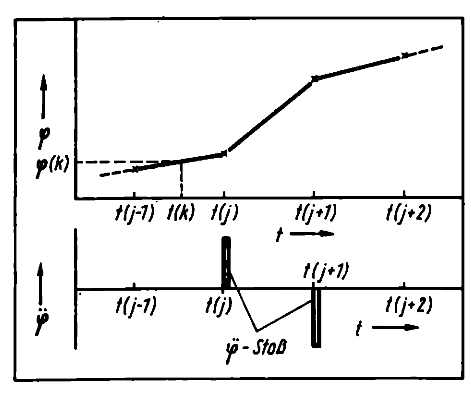
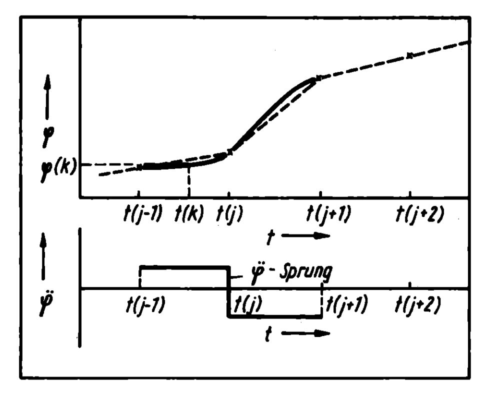


Bild 4. Bahnprofil der Führungsgröße bei der Verwendung eines Interpolators 2. Ordnung



satzes sowie einer Reihe von leistungsfähigen Arithmetikbefehlen auch komplizierte Berechnungen schnell durchgeführt werden. Sie ist deshalb sehr gut für die Lösung von Echtzeitaufgaben in der industriellen Steuerungstechnik geeignet.
Der Aufbau und die Wirkungsweise des Systems U 8000 sind in [3] ausführlich beschrieben.
Die folgenden Beispiele demonstrieren die Leistungsfähigkeit des Prozessors für ausgewählte Arithmetikaufgaben:

— *Multiplikation zweier 16-bit-Zahlen*

```
LD     R1,  # ZAHL1   ⟨R1⟩ := ZAHL1
LD     R2,  # ZAHL2   ⟨R2⟩ := ZAHL2
EXTS   RR∅            Stellenerweiterung von ZAHL1
                      auf 32 bit
MULT   RR∅, R1        ⟨RR∅⟩ := Ergebnis (32 bit)
```

Ausführungszeit: 23,75 µs

— *Multiplikation zweier 32-bit-Zahlen*

```
LDL    RR2, # ZAHL1   ⟨RR2⟩ := ZAHL1
LDL    RR4, # ZAHL2   ⟨RR4⟩ := ZAHL2
EXTSL  RQ∅            Stellenerweiterung von ZAHL1
                      auf 64 bit
MULTL  RQ∅, RR4       ⟨RQ∅⟩ := Ergebnis (64 bit)
```

Ausführungszeit: 129,25 µs

— *Division einer ganzen 32-bit-Zahl durch eine ganze 16-bit-Zahl, die im Speicher steht*
Darstellung des Ergebnisses als Festkommazahl im Format 16 bit vor und 16 bit nach dem Komma.

```
LDL    RR1, # DIVIDEND
EXTSL  RQ∅            Stellenerweiterung auf 64 bit
LD     R1,R2
LD     R2,R3
LD     R3,R∅          ⟨RQ∅⟩ := DIVIDEND als
                      Festkommazahl 32,32
DIVL   RQ∅,C  ADR     ⟨RR1⟩ := Ergebnis als Fest-
                      kommazahl 16,16
```

Ausführungszeit: 193,75 µs

Es bedeuten R-Einfachregister, RR-Doppelregister und RQ-Vierfachgerister. Die Ausführungszeiten sind für den standardmäßigen Arbeitstakt von 4 MHz angegeben.

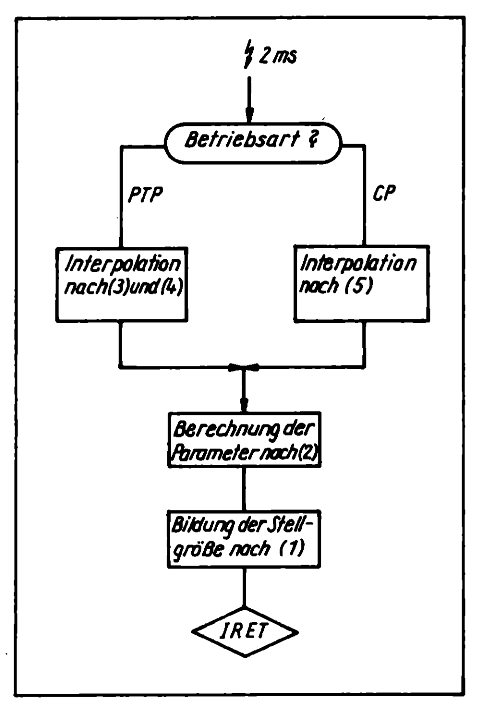


Bild 5. Prinzipieller Programmablaufplan für den Servocontroller

Aus den Beispielen wird u. a. deutlich, daß insbesondere durch die Möglichkeit der Nutzung von Vierfachregistern (Wortbreite 64 bit) als Operanden auch Festkommazahlen schnell und genau mit wenig Programmieraufwand verarbeitet werden können.
Vorteile des Prozessors bestehen weiterhin darin, daß praktisch der gesamte Befehlssatz auf alle Register anwendbar ist und auch arithmetische Speicheroperationen möglich sind (s. Beispiel 3).
Für den beschriebenen Einsatzfall erfolgte die Programmierung nach dem im Bild 5 dargestellten Prinzip-Programmablaufplan. Entsprechend einem Vorgabeparameter erfolgt wahlweise eine Interpolation nach (3), (4) oder (5) mit anschließender Lageregelung nach (1). Ein weiterer Vorgabewert enthält den Divisor p nach (2) sowie die Adresse für einen entsprechenden Parametersatz r_0^*, r_1^*, r_2^*. Über diesen Vorgabewert können durch einen entsprechenden übergeordneten Steuerrechner variable Lastmomente berücksichtigt und dynamische Eigenschaften des Reglers verändert werden. Über eine Statusinformation informiert der Regler über eventuelle Havariezustände (z. B. zu große Regelabweichung). Die Programmschnittstelle zur Istpositionserfassung sowie zur Stellgrößenausgabe befindet sich im 8-bit-Koppel-RAM nach Bild 1. Über diesen Speicher ist eine Kopplung mit anderen Prozessorsystemen möglich.
Das Regelprogramm läuft als NMI-Routine und kann damit einfach über den NMI-Eingang der CPU mit anderen Prozessen synchronisiert werden.

Ergebnisse

Das Quellprogramm wurde mit der symbolischen Assemblersprache PLZ/ASM für den UB 8000 [4] entwickelt. Es ist beim Autor erhältlich. Für Entwicklung und Test des Programms wurde ein Bürocomputer A 5120.16 mit dem Betriebssystem UDOS sowie der zugehörigen U 8000-CROSS-Software einschließlich dem Echtzeittestsystem MON 8000 genutzt.
Das gesamte Programm benötigt einen Speicherplatz von etwa 0,7 K Worte. Für die einzelnen Komponenten ergeben sich bei einer CP-Bewegung des Antriebs folgende Ausführungszeiten:

• Interpolator 2. Ordnung	642,5 µs
• Bildung der Regelabweichung und Havariekontrolle	52,75 µs
• Bildung der Reglerparameter bei variabler Last	643,5 µs
• Lageregelalgorithmus	379,5 µs
• Begrenzung der Stellgröße und Übergabe an Koppel-RAM	44,25 µs
	Σ 1762,50 µs

Die Software konnte mittels eines Laboraufbaus für ein komplettes Positioniersystem zur Steuerung einer Industrieroboterachse (BGI des Montageroboters PHM 41) im VEB Robotron Rationalisierung Weimar erfolgreich getestet werden.

Literatur

[1] Liebich, W.; Krapp, M.; Langmann, R.: Mikroprozessorgesteuertes Positioniersystem mit 16-bit-CPU. MP, Berlin 2 (1988) 1, S. 10—12.
[2] Werth, F.: Beitrag zum Entwurf dezentral arbeitender DDC-Bahnregelungen für Industrieroboter. Dissertation A, TH Ilmenau 1985.
[3] Brennenstuhl, H.: Programmierung des 16-bit-Mikroprozessorsystems U 8000. Berlin: VEB Verlag Technik 1987.
[4] Sprachbeschreibung U 8000. CROSS-Software U 8000 für UDOS 1526. Anwenderdokumentation. Herausgeber: VEB Robotron-Buchungsmaschinenwerk Karl-Marx-Stadt 1985.

msr 8859

R. Maletti, H. Stein

Gültigkeitsprüfung von Prozeßinformationen mittels analytischer Redundanz und Paritätsraumdarstellung

Einleitung

Ständig steigende Anforderungen bezüglich optimaler Prozeßführung und Gewährleistung hoher Anlagensicherheit erfordern in zunehmendem Maße den erweiterten Einsatz rechnergestützter Verfahren zur Betriebsführung. Wesentlicher Bestandteil solcher wissensbezogenen Beratungs- und Diagnosesysteme ist die Bereitstellung einer gesicherten Datenbasis. Das kann durch die Verwendung verschiedener Methoden zur Signalgültigkeitsprüfung, auch als Sensorsignalvalidierung (SSV) bezeichnet, erreicht werden.

Erste Verfahren zur Gültigkeitsprüfung von Sensorsignalen unter Einbeziehung von Methoden der künstlichen Intelligenz wurden in den USA im Zusammenhang mit verschiedenen Projekten der Luft- und Raumfahrt entwickelt [1] und [2].

Die Notwendigkeit der Sensorvalidierung auf kerntechnischem Gebiet wurde mit Beginn der 80er Jahre bei der Schaffung von rechnergestützten Operatorberatungssystemen nach dem TMI-Reaktorstörfall erkannt [3] bis [5].

Gegenwärtig ist bei der Schaffung von Störungsanalyse-, Zuverlässigkeits-, Sicherheits- oder Steuerungssystemen die SSV nicht nur im kerntechnischen Sektor (hier vor allem die Reduktion von falschen Alarmen), sondern bei allen komplexen industriellen Prozessen zu betrachten.

Unter dem Begriff Sensor sollen im folgenden alle Einrichtungen von der Meßgrößenaufnahme über die Signalaufbereitung bis zum Eingang in die elektronische Datenverarbeitungsanlage verstanden werden. Bisher angewandte Methoden der SSV, wie

- Grenz- und Tendenzwertkontrolle (Vergleich der Meßwerte mit vorgegebenen Grenzwerten)
- direkte Redundanz (Installierung von 2 oder mehr Sensoren zur Messung **einer** Prozeßgröße)
- Meßkanal-Integritätsprüfung (Kontrolle ausgewählter Übertragungscharakteristiken)
- Kalibriertests,

detektieren vor allem grobe Sensor- und Übertragungsfehler. Die Leistungsfähigkeit dieser Verfahren ist jedoch häufig bezüglich Empfindlichkeit, Selektierbarkeit sowie der Einsatzbedingungen eingeschränkt, so daß die Verwendung fortgeschrittener SSV-Routinen erforderlich ist.

Mit dem Beitrag sollen der internationale Stand auf dem Gebiet der Gültigkeitsprüfung von Sensorsignalen mittels analytischer Redundanz und Parity-space-Darstellung aufgearbeitet sowie das Parity-space-Verfahren in geschlossener mathematischer Form dargeboten werden. Um eine Nutzung dieser Methode sowohl im kerntechnischen Sektor als auch in anderen industriellen Anlagen anzuregen, werden einige für den Prozeßrechner K 1630 geschriebene Parity-space-Subroutinen erläutert.

Dr. rer. nat. Rainer Maletti (38) studierte von 1970 bis 1974 Physik an der Karl-Marx-Universität Leipzig. Von 1974 bis 1985 wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Reaktormeßtechnik des Bereiches Reaktorphysik im Zentralinstitut für Kernforschung (ZfK) Rossendorf der AdW der DDR. 1984 Promotion A im Forschungsbereich Physik-, Kern- und Werkstoffwissenschaften der AdW. 1985/86 Forschungsingenieur an der Sektion Feingerätetechnik und Elektroniktechnologie im Technikum Mikroelektronikmontage der TU Dresden und Delegierung zum VEB Zentrum für Forschung und Technologie der Mikroelektronik Dresden. Seit 1987 wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Prozeßrechentechnik des Bereiches Reaktorphysik im ZfK Rossendorf.

Dipl.-Ing. Hans Stein (53) studierte von 1954 bis 1960 Hochspannungstechnik an der Hochschule für Elektrotechnik Ilmenau. Von 1960 bis 1967 Prüffeldingenieur im VEB Transformatoren- und Röntgenwerk Dresden. Anschließend wissenschaftlicher Mitarbeiter im ZfK Rossendorf, Abteilung Prozeßrechentechnik des Bereiches Reaktorphysik.

1. Analytische Redundanz

Als intelligente SSV haben in letzter Zeit speziell in den USA und in Japan [4] bis [6] die Methoden der analytischen Redundanz und der Parity-space-Darstellung Eingang gefunden.

Grundlage der Verfahren der analytischen Redundanz bilden die physikalisch-mathematischen Abhängigkeiten verschiedener Prozeßgrößen. Mehrere zugleich erfaßte Prozeßsignale verschiedener Sensoren werden mit Hilfe von analytischen Modellen oder auch Schätzverfahren (z. B. Kalman-Filter) so miteinander verknüpft, daß eine Beurteilung anderer Prozeßgrößen möglich wird. Als Beispiel sei der funktionelle Zusammenhang der thermischen Kassetten- bzw. Reaktorleistung von Aufwärmspanne und Kühlmitteldurchsatz in der Spaltzone eines Kernreaktors angegeben.

Werden mehrere analytische Modelle zur Ermittlung der interessierenden Prozeßgrößen benutzt, und sind diese Variablen auch direkt meßbar, ergeben sich vielfältige Möglichkeiten der Kombination von direkter und analytischer Redundanz einschließlich der notwendigen Entscheidungslogikbausteine.

Eine Variante der Verbindung von direkter und analytischer Redundanz mit dem Validierungsverfahren der Parity-space-Technik ist im Bild 1 skizziert.

An die analytischen Modelle sind einige spezielle Forderungen zu stellen, z. B. [19]:

- Die Modelle dürfen nicht zu detailliert sein, denn sie müssen sich in einfache mathematische Algorithmen umsetzen lassen, so daß sie für die Echtzeitverarbeitung auf einem Rechner geeignet sind.
- Vor ihrer Implementierung auf dem Rechner sind die Modelle auf die Gültigkeit im gesamten Anwendungsbereich, speziell bei transienten Vorgängen zu testen.
- Um die Grenzwerte für die Detektion fehlerhaftes Sensorverhaltens festlegen zu können, ist durch eine Empfindlichkeitsanalyse ein quantitativer Wert des mit dem Modell verbundenen Fehlers zu bestimmen (z. B. auf analytischem Wege oder mittels Monte-Carlo-Methode [7]).

2. Detektion und Isolierung von Sensorfehlern mit der Paritätsraumtechnik

2.1. Vorbemerkung

Bei der Schaffung und Benutzung von SSV-Routinen sind folgende Merkmale der Sensorprüfung zu beachten [19]:

- *Stellung der zu prüfenden Größe im Gesamtensemble der zu überwachenden Kennwerte*
  Daraus leitet sich ab, daß z. B. sicherheitsrelevante Signale mit wesentlich mehr Sorgfalt (redundante Tests) zu prüfen sind.
- *Meßgenauigkeit und Zuverlässigkeit der Sensoren*
  Diese Parameter bestimmen einerseits die für die SSV anzugebenden Sinnfälligkeitsgrenzen und legen andererseits auch die Sensoranzahl für die direkte Sensorredundanz fest. Die Meßgenauigkeit beinhaltet vor allem Sensorkennlinien und Angaben über Signal-Rausch-Abstände.
  Oftmals liegen jedoch keine gesicherten Angaben von Geberproduzenten, Anlagenbetreibern, Experimentatoren usw. vor.
- *Anzahl der Sensoren und Modelle*
  Um eine einfache „2von3"-Logik zur Ermittlung eines fehlerhaf-

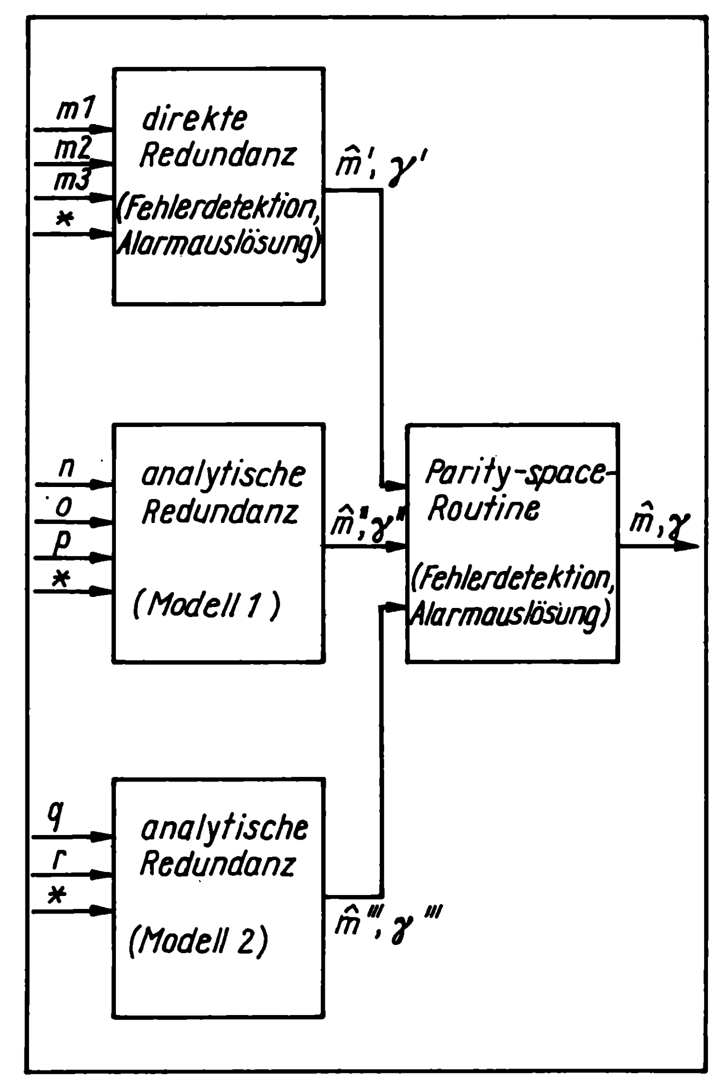


Bild 1. Kombination von direkter und analytischer Redundanz zur Detektion von Sensorfehlern
$\hat{m}$ Mittelwerte; γ Konfidenzniveaus; * weitere Eingangsgrößen bzw. teilvalidierte Mittelwerte

ten Sensors realisieren zu können, sind mindestens drei Eingangsinformationen erforderlich. Dieses Prinzip versagt im Falle dreier gleichartiger Sensoren, wenn durch ein Ereignis (z. B. Spannungsausfall) alle Sensoren gleichzeitig gestört werden. Solche speziellen SSV-Probleme können durch die Hinzunahme der analytischen Redundanz gelöst werden (Überwachung der Kohärenz von analytischer und direkter Redundanz).
Das Redundanzniveau wird dadurch erhöht, und es lassen sich auch Messungen von nur einem oder zwei Sensoren prüfen.

2.2. *Parity-space-Routine*

2.2.1. Mathematischer Hintergrund

Die Beschreibung der mathematischen Grundlagen der Parity-space-Routine (PSR) basiert auf der in [7] angegebenen Darstellung. Das Wesen der PSR besteht darin, daß Unregelmäßigkeiten von allen direkt und/oder analytisch redundanten Informationen einer Zustandsgröße, im folgenden als Messungen bezeichnet, erkannt und ausgewertet werden.
Der lineare Zusammenhang zwischen den N redundanten Messungen $m_1, m_2, \dots, m_N$ und dem wahren Wert x der skalaren Größe ist

$$\boldsymbol{m} = \boldsymbol{h}x + \boldsymbol{\varepsilon} \tag{1}$$

$\boldsymbol{m} = [m_1, m_2, \dots, m_N]^T$ Vektor der redundanten Messungen

$\boldsymbol{h} = [1, 1, \dots, 1]^T$ Verstärkungsvektor

$\boldsymbol{\varepsilon} = [\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_N]^T$ Fehlervektor,

wobei die Vektoren in der transponierten Form dargestellt sind. Unregelmäßigkeiten im Sensorverhalten können leicht erkannt werden, indem (1) nach x aufgelöst wird, so daß $(N-1)$ linear unabhängige Gleichungen (Paritätsgleichungen) der Form $m_i - m_j = \varepsilon_i - \varepsilon_j$ entstehen.
Durch dieses Vorgehen wird der wahre Wert x unterdrückt, und die Paritätsgleichungen enthalten nur die Sensormeßfehler, einschließlich der Fehler, die aus einem Sensorfehlverhalten resultieren. Den Raum, der durch diese $(N-1)$ Gleichungen aufgespannt wird, nennt man parity space. So ist z. B. bei 3 Messungen die Ebene der Paritätsraum.
Die $(N-1)$ unabhängigen Variablen der Paritätsgleichungen sind die Komponenten des im Paritätsraum befindlichen Paritätsvektors. Der Betrag dieses Vektors ist ein Hinweis auf Abweichungen zwischen verschiedenen redundanten Messungen. Aus der Richtung des Vektors lassen sich die fehlerbehafteten Sensoren bzw. Modelle ermitteln.
Wesentliche Vorteile der PSR liegen darin, daß bei der Erkennung von Unregelmäßigkeiten unter den redundanten Messungen keine aufwendigen mathematischen Operationen (z. B. Fourier-Transformation) und keine detaillierten Informationen über die Sensor- oder Anlagenfehlerstatistik erforderlich sind. Neben kurzen Rechenzeiten liegt die große praktische Bedeutung der PSR gerade darin, daß sie für größere Anlagen, von denen selten Einzelheiten zur Fehlerstatistik verfügbar sind, verwendbar ist.
Voraussetzung für die Fehlerdetektion ist die Annahme, daß der Meßfehler willkürlich verteilt innerhalb der symmetrischen Grenzwerte $\pm b$, die die Präzision der Geber berücksichtigen, liegt.
Die Projektionen von $\boldsymbol{m}$ in den $(N-1)$-dimensionalen Paritätsraum ergeben also den $(N-1)$-dimensionalen Paritätsvektor

$$\boldsymbol{p} = \boldsymbol{V} \cdot \boldsymbol{m} \tag{2a}$$

bzw.

$$\boldsymbol{p} = \boldsymbol{V} \cdot \boldsymbol{\varepsilon}, \tag{2b}$$

wobei die $(N-1) \cdot N$-dimensionale Projektionsmatrix $\boldsymbol{V}$ so zu wählen ist, daß sie folgende Eigenschaften besitzt:

$$\begin{aligned} \boldsymbol{V} \cdot \boldsymbol{V}^T &= \boldsymbol{E}_{N-1} \quad \text{(Einheitsmatrix)} \\ \boldsymbol{V} \cdot \boldsymbol{h} &= \boldsymbol{O}_{N-1} \quad \text{(Nullvektor)} \\ \boldsymbol{V}^T \cdot \boldsymbol{V} &= \boldsymbol{E}_N - \boldsymbol{h}(\boldsymbol{h}^T \cdot \boldsymbol{h})^{-1} \cdot \boldsymbol{h}^T . \end{aligned} \tag{3}$$

Damit bilden die $(N-1)$ Zeilen von $\boldsymbol{V}$ eine Orthonormalbasis für den Paritätsraum.
Mit der Definition des N-dimensionalen Lösungsvektors

$$\boldsymbol{\eta} = \boldsymbol{V}^T \cdot \boldsymbol{p} \tag{4a}$$

bzw.

$$\boldsymbol{\eta} = \boldsymbol{m} - \boldsymbol{h}\bar{x}, \quad \bar{x} = (\boldsymbol{h}^T \cdot \boldsymbol{h})^{-1} \cdot \boldsymbol{h}^T \cdot \boldsymbol{m} \tag{4b}$$

oder in anderer Schreibweise:

$$\eta_i = m_i - \hat{m}, \quad \hat{m} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} m_i$$

und den Eigenschaften von $\boldsymbol{V}$ folgt

$$\boldsymbol{\eta}^T \cdot \boldsymbol{\eta} = \boldsymbol{p}^T \cdot \boldsymbol{p} \tag{5a}$$

bzw.

$$\sum_{i=1}^{N} \eta_i^2 = \sum_{i=1}^{N-1} p_i^2 \tag{5b}$$

und für die Komponente p_j des Paritätsvektors in Richtung des j-ten Sensors (Modells)

$$p_j = \sqrt{\frac{N}{N-1}}\, \eta_j . \tag{6}$$

Für den Betrag des $(N-1)$-dimensionalen Paritätsvektors ergibt sich mit (1), (4) und (5)

$$\boldsymbol{p}^T \cdot \boldsymbol{p} = \sum_{i=1}^{N} \varepsilon_i^2 - \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^{N} \varepsilon_i \right)^2 \tag{7}$$

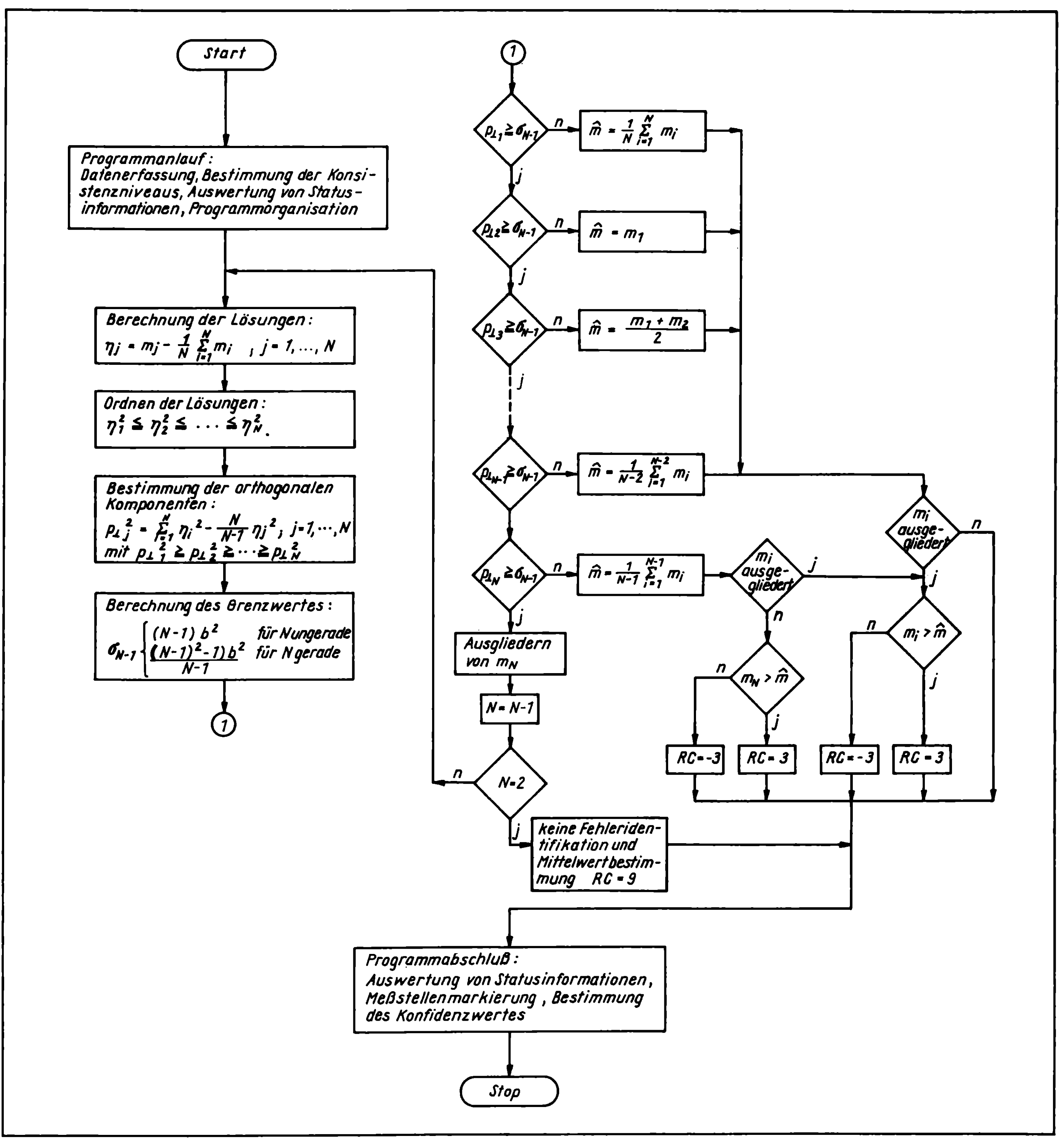


Bild 2. Ablaufplan PSR6: Validierung von 6 und mehr redundanten Sensorsignalen (nach [7])

Mit $|\varepsilon_i| \leqq b$ folgt für den maximal zulässigen Fehler δ_N

$$\delta_N = \max_{\varepsilon}\left[\sum_{i=1}^{N}\varepsilon_i^2 - \frac{1}{N}\left(\sum_{i=1}^{N}\varepsilon_i\right)^2\right] = \begin{cases} Nb^2 & \text{für } N \text{ gerade} \\ \dfrac{(N^2-1)\,b^2}{N} & \text{für } N \text{ ungerade.} \end{cases} \tag{8}$$

Im Falle $\sum_{i=1}^{N} \eta_i^2 > \delta_N$ ist fehlerhaftes Sensorverhalten nachgewiesen.

Um auch die Richtung des Paritätsvektors, d. h. den betreffenden fehlerbehafteten Sensor, feststellen zu können, werden die Beträge der zu den jeweiligen Sensorrichtungen orthogonalen Komponenten des Paritätsvektors ermittelt. Mit (5) und (6) kann die zur j-ten Sensorrichtung orthogonale Komponente

$$p_{\perp j}^2 = \sum_{i=1}^{N} \eta_i - \frac{N}{N-1}\,\eta_j^2 \tag{9}$$

bestimmt werden.

Da die Projektionen des $(N-1)$-dimensionalen Paritätsvektors auf den zur j-ten Sensorrichtung orthogonalen Unterraum einen $(N-2)$-dimensionalen Vektor ergeben, der von $(N-1)$ Messungen $m_1, m_2, \dots, m_{j-1}, m_{j+1}, \dots, m_N$ gebildet wird, folgt für den maximal zulässigen Fehler der Projektionen j:

$$p_{\perp j}^2 = \sum_{\substack{i=1\\ i\neq j}}^{N} \varepsilon_i^2 - \frac{N}{N-1}\left(\sum_{\substack{i=1\\ i\neq j}}^{N} \varepsilon_i\right)^2 \tag{10}$$

und damit

$$\delta_{N-1} = \max_{\varepsilon}\left[\sum_{\substack{i=1\\ i\neq j}}^{N} \varepsilon_i^2 - \frac{1}{N-1}\left(\sum_{\substack{i=1\\ i\neq j}}^{N} \varepsilon_i\right)^2\right] = \begin{cases} (N-1)\,b^2 & \text{für } N \text{ ungerade} \\ \dfrac{((N-1)^2-1)\,b^2}{N-1} & \text{für } N \text{ gerade.} \end{cases}$$

2.2.2. Das K1630-Rechenprogramm PSR 6 als Beispiel einer einfachen PSR-Logik

Die im vorigen Abschnitt genannten Grundlagen sind Bestandteil des Rechenprogramms PSR6, einer SSV für 6 bis 100 (oder mehr) redundante Eingangsinformationen. Der Programmablauf ist im Bild 2 dargestellt.

Werden die Lösungen (4) in der Reihenfolge

$$\eta_1^2 \leqq \eta_2^2 \leqq \ldots \leqq \eta_N^2$$

und damit die Projektionen (10) nach

$$p_{\perp_1}^2 \geqq p_{\perp_2}^2 \geqq \ldots \geqq p_{\perp_N}^2$$

geordnet, läßt sich in übersichtlicher Form ein iterativer Algorithmus zur Detektion und Identifikation von Sensorfehlern einschließlich der Berechnung eines gesicherten Mittelwertes $\hat{m}$ aufbauen.

Anmerkung: Bei der Mittelwertberechnung bieten sich verschiedene Formen der Wichtung an. So kann z. B. vor der PSR das Konsistenzniveau I für alle Messungen berechnet werden [8] bis [10]:

$$I_i = \sum_{j=1}^{N} \xi[|m_i - m_j| \leqq 2b], \qquad i = 1, 2, \ldots, N,$$

$$\xi[\Theta] = \begin{cases} 1 & \text{wenn Bedingung erfüllt} \\ 0 & \text{sonst.} \end{cases}$$

Anhand der Niveaus I_i lassen sich die Gewichte w_i bestimmen, und die Mittelwertberechnung kann für k gültige Messungen nach

$$\hat{m} = \frac{\sum_{i=1}^{k} w_i m_i}{\sum_{i=1}^{k} w_i}$$

erfolgen. Bei fortlaufender Überwachung der Meßwerte können auch zeitlich zurückliegende Konsistenzniveaus Eingang in die Gewichte w_i finden.

Bei Auftreten eines Sensorfehlers wird das entsprechende Meßergebnis besonders markiert. Im Beispiel PSR6 sind folgende Werte im Rückkehrkode (RC) aus den PARITY-Subroutinen möglich (vgl. auch Bild 2):

RC	Kommentar
0	kein Sensorfehler
3	oberer Grenzwert verletzt
−3	unterer Grenzwert verletzt
9	Meßwerte sind inkonsistent; keine Fehleridentifikation und Bestimmung von $\hat{m}$ möglich
10	zu wenig funktionsfähige Sensoren; keine Fehleridentifikation und Mittelwertberechnung möglich
11	Ausschalten des Sensors infolge Erreichens der zulässigen Zahl von unmittelbar aufeinanderfolgenden Ausreißern.

Im Falle von 3 bis 5 zu testenden redundanten Sensoren ist durch die kurzen Rechenzeiten und vorhandener Übersichtlichkeit eine ausführliche Darstellung der SSV-Ergebnisse möglich [7] und [11]. Ein Überblick wird in Tafel 1 (Erläuterung der Rückkehrkodes der Subroutinen PSR3, PSR4 und PSR5 des Programmpakets PSR345) gegeben [7].

Tafel 1. Fehleridentifikation anhand der Rückkehrkodes RC der PARITY-Subroutinen PSR3, PSR4 und PSR5 für 3, 4 bzw. 5 zu prüfende Sensorsignale [7]

Die Numerierung der Sensoren von 1 bis 5 erfolgt in Reihenfolge wachsender betragsmäßiger Abweichungen der Einzelmessung vom Mittelwert $|\eta_1| \leqq |\eta_2| \leqq \ldots \leqq |\eta_5|$

RC — PSR 3		Bemerkung
0		keine *GWV*
1	*	*GWV S2* und/oder *S3*
2		*S3*+
−2		*S3*−
5	*	mehr als eine *GWV*
RC — PSR4		**Bemerkung**
0		keine *GWV*
1	*	*GWV S4* und/oder *S3* und/oder *S2*
2	*	*GWV S4* und/oder *S3*
3 oder 4		*S4*+
−3 oder −4		*S4*−
5		*S4*+ und *GWV S3* und/oder *S2*
−5		*S4*− und *GWV S3* und/oder *S2*
6		*S4*+ und *S3*+
−6		*S4*+ und *S3*−
7		*S4*− und *S3*+
−7		*S4*− und *S3*−
8	**	*GWV* (*S4* und *S3*) oder (*S2* und *S1*)
9	**	mehr als 2 *GWV*
RC — PSR5		**Bemerkung**
0		keine *GWV*
1	*	*GWV S5* und/oder *S4* und/oder *S3* und/oder *S2*
2	*	*GWV S5* und/oder *S4* und/oder *S3*
3	*	*GWV S5* und/oder *S4*
4 oder 10		*S5*+
−4 oder −10		*S5*−
11		*S5*+ und *GWV S4* und/oder *S3* und/oder *S2*
−11		*S5*− und *GWV S4* und/oder *S3* und/oder *S2*
12		*S5*+ und *GWV S4* und/oder *S3*
−12		*S5*− und *GWV S4* und/oder *S3*
13 oder 14		*S5*+ und *S4*+
−13 oder −14		*S5*− und *S4*+
130 oder 140		*S5*+ und *S4*−
−130 oder −140		*S5*− und *S4*−
15		*S5*+ und *S4*+ und *GWV S3* und/oder *S2*
−15		*S5*− und *S4*+ und *GWV S3* und/oder *S2*
150		*S5*+ und *S4*− und *GWV S3* und/oder *S2*
−150		*S5*− und *S4*− und *GWV S3* und/oder *S2*
16		*S5*+ und *S4*+ und *S3*+
−16		*S5*− und *S4*+ und *S3*+
160		*S5*+ und *S4*+ und *S3*−
−160		*S5*− und *S4*+ und *S3*−
17		*S5*+ und *S4*− und *S3*+
−17		*S5*− und *S4*− und *S3*+
170		*S5*+ und *S4*− und *S3*−
−170		*S5*− und *S4*− und *S3*−
18		*S4*+ und *S3*+
−18		*S4*− und *S3*−
180		*S2*+ und *S1*+
−180		*S2*− und *S1*−
19	**	mehr als 3 *GWV*
−19	**	*GWV S5* und (*S4* und *S3*) und/oder (*S2* und *S1*)

GWV Grenzwertverletzung; *Si* Sensor *i*; „+" Überschreiten des oberen bzw. „−" unteren Grenzwertes; „*" Messungen werden nicht als fehlerhaft markiert; „**" keine Bestimmung eines zuverlässigen Meßwertes („Mittelwertes") aus den redundanten Eingangsgrößen möglich

2.2.3. Illustration der PSR anhand der SSV für 3 Sensoren

Bei N = 3 redundanten Messungen m_1, m_2, m_3 ist der Paritätsvektor zweidimensional $\boldsymbol{P} = \boldsymbol{P}(p_1, p_2)$.

Mit den maximal zulässigen Sensorfehlern $|\varepsilon_i| \leqq b$, $i = 1, 2, 3$, wird der Paritätsraum (Ebene) in verschiedene Entscheidungsbereiche unterteilt. Durch die ebene Darstellung hat dieses Beispiel für die Ergebnispräsentation eine besondere Bedeutung [7], da mittels der eingetragenen Entscheidungszonen das Resultat der PSR sofort interpretiert werden kann (Bild 3).

Solange sich der Paritätsvektor im zentralen Sechseck (Kreuzungsbereich aller 3 „Sensorstraßen") befindet, liegt kein Sensorfehler vor, und der Mittelwert ergibt sich aus $\hat{m} = (m_1 + m_2 + m_3)/3$.

Bei fehlerhaften Sensoren kann der Paritätsvektor in 3 verschiedene Zonen zeigen:

a) Der Vektor weist in Richtung einer mit der vorgewählten Fehlerbreite dargestellten „Sensorstraße" außerhalb jeglicher Kreuzungsbereiche.
Der im Bild 3 eingezeichnete Paritätsvektor $\boldsymbol{P}'$ deutet darauf hin, daß mit Messung 2 der obere Grenzwert überschritten wurde. Die entsprechenden Beziehungen in der PSR lauten:

$$p_{1_1}^2 \geqq \delta_2\,,\; p_{1_3}^2 \geqq \delta_3 \quad \text{aber} \quad p_{1_2}^2 < \delta_2\,,$$
$$\eta_2 > 0 \quad \text{und} \quad \hat{m} = (m_1 + m_3)/2\,.$$

b) Beim Kreuzen von jeweils 2 „Sensorstraßen" entstehen 6 Bereiche um das innere Sechseck, wo es nicht möglich ist, einem oder beiden der jeweils zur Auswahl stehenden Sensoren einen Fehler zuzuordnen. Der verbleibende dritte Meßwert gilt dann als getesteter Wert $\hat{m}$.
Im Bild 3 bedeutet das für den Vektor $\boldsymbol{P}''$:

$$p_{1_2}^2 \geqq \delta_2 \quad \text{und} \quad p_{1_1}^2 < \delta_2\,,\; p_{1_3}^2 < \delta_2\,, \quad \text{somit} \quad \hat{m} = m_2\,.$$

c) Außerhalb der „Sensorstraßen" liegen Zonen, die auf Inkonsistenz zwischen allen Messungen hinweisen (z. B. Vektor $\boldsymbol{P}'''$ im Bild 3). Es gilt $p_{1_i}^2 \geqq \delta_2$, $i = 1, 2, 3$. Hier kann keine Fehleridentifikation und keine Bestimmung von $\hat{m}$ erfolgen.

Schlußbemerkungen

Zusammenfassend lassen sich die Vorzüge der analytischen Redundanz und der Parity-space-Routine (PSR) folgendermaßen darstellen:

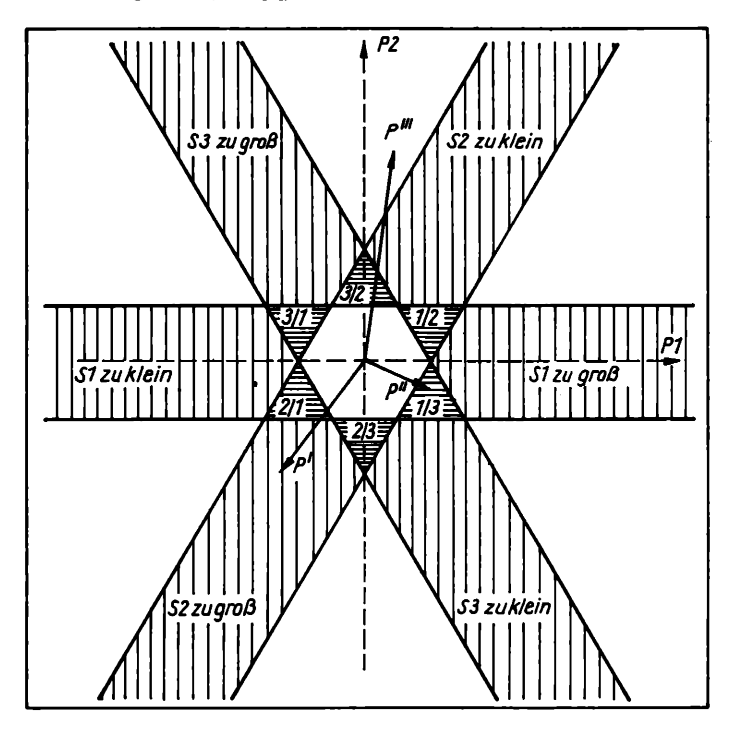
- Die analytische Redundanz ist eine kostensparende Möglichkeit zur Gewinnung von Vergleichssignalen für die Sensorsignalvalidierung (SSV), da ohne Einbau weiterer Sensoren neue Informationen über den Anlagenzustand ermittelt werden können. Mit den in einem Modell dargestellten mathematisch-physikalischen Beziehungen mehrerer Prozeßgrößen lassen sich einerseits Informationen von solchen Anlagenorten gewinnen, die aus verschiedensten Gründen (z. B. hoher Strahlungspegel, fehlender Installationsfreiraum) keinen Sensoreinbau erlauben, und andererseits ist auch die Bestimmung von nicht direkt meßbaren Parametern möglich.
- Mit analytischen Modellen können auch solche gemessenen Anlagenkennwerte beurteilt werden, zu deren Erfassung nur ein oder zwei Sensoren verfügbar sind.
- Die PSR ist speziell bei einer in unregelmäßigen Zeitabständen erfolgenden SSV von redundanten Sensorwerten bzw. Modelldaten eine geeignete Methode zur Ermittlung und Eliminierung von Sensorfehlern.
- Folgende Ursachen für Meßwertverfälschung können i. allg. durch die Kombination von analytischer Redundanz und Paritätsraumdarstellung erkannt werden:
  - Drift von Sensorausgangssignalen
  - hochfrequente Störspitzen
  - starkes Sensorrauschen
  - Ausfall kompletter Meßkanäle
  - Änderung der charakteristischen Sensorzeitkonstanten
  - fehlerhafte Sensorkalibrierung.
- Durch orts- und zeitabhängige Vorgänge in der zu überwachenden Anlage (z. B. Leistungsdichteumverteilungen im Kernreaktor aufgrund von Xenon-Oszillationen) ist der Vergleich von Meßwerten gleichartiger Sensoren u. U. erheblich erschwert. Durch spezielle On-line-Kompensationsverfahren lassen sich dennoch plötzlich auftretende Sensorfehler nachweisen [12] bis [14].
- Bei Übergangsprozessen und für in äquidistanten Zeitabständen durchzuführende SSV sind neben der PSR vor allem die Verfahren der Kalman-Optimalfilter [6] [9] und [15], der Zeitreihenanalyse (autoregressive Methoden) und der Frequenzanalyse [16] zu nennen.
- Die PSR ist aus einfachen mathematischen Operationen aufgebaut, so daß in Abhängigkeit von der Sensoranzahl i. allg. ein geringer Speicherplatz- und Rechenzeitbedarf besteht. Das vom Anwender zu erstellende Hauptprogramm und die PARITY-Subroutinen bieten sich somit für ihre Implementierung auf Klein- und Prozeßrechnern bzw. Personalcomputern [9] [17] und [20] an.
- Über erste industrielle Erfahrungen der Nutzung der PSR wird in [14] [19] und [20] berichtet. Von den Autoren des vorliegenden Beitrags wurden die PARITY-Subroutinen für die spezielle Gerätekonfiguration Rechner K1630, IFLS-Datenbus und quasigrafisches Farbterminal erprobt.
  Für den Fall von 3 bis 5 zu überprüfenden Sensoren wurden die in [7] vorgestellten ausführlichen Fehleridentifikationsschemata (Tafel 1) übernommen und ebenso wie die Routine PSR6 mit Simulationsverfahren getestet, Ausgewählte Ergebnisse bezüglich der benötigten Rechenzeiten sind in Tafel 2 angegeben.
- Eine gute Anschaulichkeit aufgrund der übersichtlichen, i. allg. Farbdisplaydarstellung des Paritätsvektors kann bei drei Sensorsignalen erreicht werden (vgl. auch Bild 3).

Tafel 2. PSR-Rechenzeiten für Rechner K1630 (Auswahl)

Anzahl der zu testenden Sensoren	Anzahl der Sensoren mit fehlerhaftem Verhalten	Rechenzeit in s
3	0	0,04
5	0	0,08
10	2	0,32
20	9	2,1
50	28	19,6
100	0	16,7
100	43	105,0
100	96	142,0

Anschließend ist festzustellen, daß die Entwicklung und vor allem die praktische Nutzung von Methoden der SSV bei der Lösung nuklearer und konventioneller Sicherheitsprobleme erst am Anfang stehen. Der Trend der weiteren Entwicklung sowohl von selbstprüfenden bzw. intelligenten Sensoren, die einen Validierungsprozessor einschließen [6], als auch von Validierungssoftware mit

Bild 3. Zweidimensionaler Paritätsraum bei der Prüfung von 3 Sensorsignalen ($S1$, $S2$, $S3$) mit Angabe von Paritätsvektoren (P', P'', P''') und Entscheidungszonen (nach [7])



detaillierten Sequenzen von „IF-THEN“-Regeln [9] bis hin zum Aufbau von SSV-Expertensystemen [18] ist klar zu erkennen. Ziel dieses Beitrags war es, die Verfahren der analytischen Redundanz und der Parity-space-Darstellung anhand ihrer Vorzüge für eine rasche Anwendung zu empfehlen. Die Autoren sind bemüht, den Leserkreis bei Vorhandensein entsprechenden Datenmaterials ebenfalls über erzielte praktische Resultate zu informieren.

Literatur

[1] CHIEN, T. T. u. a.: A Sequential Failure Detection Technique and its Application. IEEE Transactions on Automatic Control 21 (1976) 5, S. 750—761.

[2] DECKERT, J. C. u. a.: Sensor Failure Identification Using Analytic Redundancy. IEEE Transactions on Automatic Control 22 (1977) 5, S. 795—803.

[3] DEYST, J. J. u. a.: Sensor Validation; A Method to Enhance the Quality of the Man-Machine Interface in Nuclear Power Stations. IEEE Nuclear Power Systems Symposium, Orlando, Florida, 5.—7. 11. 1980.

[4] MASNI, T. u. a.: Diagnostic Technologies for PWR Plants in Japan. Nuclear Power Plant Control and Instrumentation Symposium, Munich, 11.—15. 10. 1982.

[5] MEIJER, C. H.: A Minimum Attention Control Center for Nuclear Power Plants. IAEA Specialists' Meeting on Use of Digital Computing Devices in Systems Important to Safety, Saclay, 28.—29. 11. 1984.

[6] UPADHYAYA, B. R.: Sensor Failure Detection and Estimation. Nuclear Safety 26 (1985) 1, S. 32—43.

[7] MEIJER, C. H. u. a.: On-line Power Plant Signal Validation Technique Utilizing Parity-Space Representation and Analytic Redundancy. Report EPRI NP-2110, Windsor, Cambridge/USA 1981.

[8] RAY, A. u. a.: On-line Signal Validation and Feedback Control in a Nuclear Reactor. Fifth Power Plant Dynamics, Control and Testing Symposium, Knoxville, 21.—23. 3. 1983.

[9] DEUTSCH, O. L. u. a.: EPRI-Sponsored Demonstration of Signal Validation at BWR and PWR Nuclear Stations. IEEE Transactions on Nuclear Science 32 (1985) 1, S. 987—991.

[10] DEUTSCH, O. L.: Fault-Tolerant Systems Technology: Signal Validations. Transactions of ANS 49 (1985), S. 370—372.

[11] BLANCAFLOR, M. M. u. a.: The Implementation of Signal Validation on the Millstone Point Unit 3 SPDS. Transactions of ANS 49 (1985) S. 375.

[12] LANNING, D. D. u. a.: MITR-II: Integrated Fault-Tolerant Systems; Implementations and Experiments. Transactions of ANS 49 (1985) S. 377—378.

[13] RAY, A. u. a.: Computer Control of Power in a Nuclear Reactor. IEEE Transactions on Nuclear Science 30 (1983) 1, S. 820—824.

[14] ZWINGELSTEIN, G. u. a.: Failure Detection Applied to U-Tube Steam Generators of a Pressurized Water Reactor. Sixth Power Plant Dynamics, Control and Testing Symposium, Knoxville, 14.—16. 4. 1986.

[15] TYLEE, J. L.: Analytical Reconstruction of Failed Sensor Readings. Sixth Power Plant Dynamics, Control and Testing Symposium, Knoxville, 14.—16. 4. 1986.

[16] JACQUOT, J. P. u. a.: Operating Results Obtained in a Nuclear Power Plant with a Sensor Surveillance Prototype. Fifth Power Plant Dynamics, Control and Testing Symposium, Knoxville, 21.—23. 3. 1983.

[17] DEUTSCH, O. L.: Signal Validation Advanced Development for On-line Plant Monitoring and Control. Sixth Power Plant Dynamics, Control and Testing Symposium, Knoxville, 14.—16. 4. 1986.

[18] HASHEMI, S. u. a.: Expert Systems Application to Plant Diagnosis and Sensor Data Validation. Sixth Power Plant Dynamics, Control and Testing Symposium, Knoxville, 14.—16. 4. 1986.

[19] ZWINGELSTEIN, G. u. a.: Applications of the Parity Space Technique to the Validation of the Water Level Measurement of Pressurizer for Steady State and Transients. Fifth Power Plant Dynamics, Control and Testing Symposium, Knoxville, 21.—23. 3. 1983.

[20] ZWINGELSTEIN, G. u. a.: Validation des mesures analogiques pour reacteurs a eau pressurisee (Validierung von Analogmeßwerten an Druckwasserreaktoren). EdF Bulletin de la direction des etudes et recherches, Serie A No 3/4, 1985, S. 55—60.

msr 8855

M. Lichtblau, D. Heymann

Einfluß von nichtäquidistanter Abtastung auf das dynamische Verhalten geschlossener Regelkreise

Einleitung

Die Anwendung der Mikrorechner in der Automatisierungstechnik hat zur Folge, daß Regelalgorithmen nicht mehr kontinuierlich, sondern diskontinuierlich abgearbeitet werden. Die Analyse- und Synthesemethoden für Abtastsysteme fordern als Grundbedingung äquidistante Abtastung. Dies geht schon aus der Definition der z-Transformation mit

$$Z\{f_k\} = F(z) = \sum_{k=0}^{\infty} f_k z^{-k}; \qquad z^{-1} = e^{-pT_0}; \qquad T_0 = \text{const}. \quad (1)$$

hervor [1].

Bei realen Mikrorechnerautomatisierungssystemen ist diese Grundbedingung jedoch aus verschiedenen Gründen nicht immer exakt einzuhalten.

Dipl.-Ing. MICHAEL LICHTBLAU (29) studierte von 1983 bis 1988 Technische Kybernetik an der Sektion Automatisierungstechnik und Elektrotechnik, Wissenschaftsbereich Prozeßmeßtechnik, der TH bzw. TU „Otto von Guericke“ Magdeburg. Seit 1988 Ratio-Ingenieur für automatische Anlagen im VEB Gießerei und Ofenbau Königshütte/Harz.

Dr.-Ing. DIETER HEYMANN (47) studierte von 1959 bis 1965 Regelungstechnik an der TH Karl-Marx-Stadt. Seit 1983 wissenschaftlicher Oberassistent an der TH bzw. TU Magdeburg, Sektion Automatisierungstechnik und Elektrotechnik.

Beispiele hierfür sind:

- nichtsynchrone ADU-Abfrage
- hochausgelastete Bussysteme (Feldbusse, Prozeßbusse)
- Übertragungsfehler
- Bedienungsgrenzen von Warteschlangen.

Um äquidistante Abtastung „ausreichend genau“ einzuhalten, müssen bestimmte Relationen zwischen Aufwand und Auslastung der Automatisierungsanlage eingehalten werden.

Dadurch ist gewährleistet, daß die für die jeweilige Konfiguration einer Automatisierungsanlage vorherberechnete Güte der Regelung erreicht wird. Nachteile sind, aus der jeweiligen Relation von Aufwand und Auslastung resultierend, hohe Kosten. An sich weist der Zusammenhang von Äquidistanz, Aufwand und Auslastung ein Optimierungsproblem aus, das lösbar ist, wenn die Auswirkungen nichtäquidistanter Abtastung qualitativ und quantitativ bestimmt werden können.

Eine Möglichkeit zur Bestimmung des Einflusses von nichtäquidistanter Abtastung auf die Güte von Regelungen ist die Monte-Carlo-Simulation.

1. Modell

1.1. Vorgehensweise

Zur Abschätzung des Güteverhaltens geschlossener Regelkreise bei nichtäquidistanter Abtastung wird folgendermaßen vorgegangen.

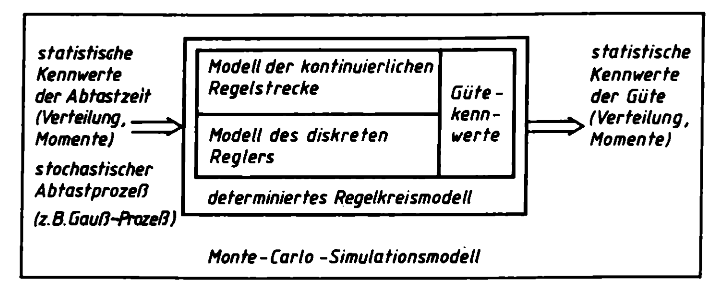


Bild 1. Struktur des Monte-Carlo-Simulationsmodells zur Bestimmung der Auswirkungen nichtäquidistanter Abtastung auf das dynamische Verhalten geschlossener Regelkreise

Auf einen nach üblichen Einstellverfahren ausgelegten Abtastregelkreis wird eine einer statistischen Verteilung unterliegende Abtastzeit gegeben. Die Auswirkungen dieses stochastischen Abtastprozesses werden durch die Berechnung von Gütekennwerten über einen abgeschlossenen Übergangsvorgang quantifiziert. Da theoretisch unendlich viele Realisierungen eines Abtastprozesses möglich sind (Grundgesamtheit), werden mehrere Hundert Übergangsvorgänge als Stichprobe aus allen denkbaren Realisierungen genommen und statistisch ausgewertet.
In den Maßzahlen, die die Eigenschaften der Stichprobe beschreiben, müssen sich somit die Eigenschaften der Grundgesamtheit widerspiegeln. Bild 1 zeigt diese grundsätzliche Herangehensweise.

1.2. Abtastprozeß

In [5] wurde ein Abtastsystem mit poisson-verteilter Abtastzeit untersucht, die mit zufälligen gleichverteilten Abfrageintervallen gefaltet war. Da der resultierende Prozeß asymptotisch normalverteilt im Sinne des zentralen Grenzwertsatzes war, lag es nahe, den Einfluß einer normalverteilten Abtastzeit auf das Güteverhalten von Abtastregelkreisen zu untersuchen. Innerhalb der Theorie stochastischer Prozesse haben die Gauß-Prozesse (normalverteilte Abtastzeit) eine zentrale Bedeutung, da andere Verteilungen nach dem zentralen Grenzwertsatz meist recht gut approximiert werden [2].
Es gilt [3] und [4]:

$$f(\tau) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_G^2}} \exp\left(-\frac{(\tau - T_0)^2}{2\sigma_G^2}\right), \tag{2}$$

$$\tau \in \Theta \sim N(T_0, \sigma_G, \tau), \quad E(\Theta) = T_0,$$

$$VAR\,\Theta = \sqrt{D^2(\Theta)} = \sigma_G .$$

f Dichtefunktion; τ zufällige Abtastzeit; Θ Abtastzeit (Zufallsgröße, statistische Variable); E Erwartungswert; D^2 Dispersion der Abtastzeit; T_0 Mittelwert der Abtastzeit; σ_G Varianz der Abtastzeit; N Normalverteilung

1.3. Streckensimulation

Die Stellsignalfolge eines Reglers mit Positionsalgorithmus läßt sich als Superposition von Sprungfunktionen der Sprunghöhe $\Delta u(k)$ darstellen (Bild 2).
Auf jeden Sprung reagiert die Strecke mit der Übergangsfunktion

$$x(t) = h\left(t - \sum_{i=1}^{k} T_{0i}\right) \Delta u(k). \tag{3}$$

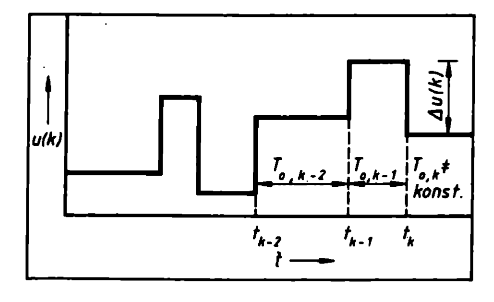


Bild 2. Nichtäquidistante Superposition von Sprungfunktionen als Stellsignalfolge des Reglers

Die Streckenantwort eines linearen Systems auf eine Sprungfolge ist dann durch Superposition der Streckenantworten auf die Einzelsprünge berechenbar.
Im geschlossenen Regelkreis läßt sich nach folgendem rekursiven Schema rechnen:

$$x(t_j) = x_j := x_j + \Delta u(k)\, h(t_{jk}) \begin{cases} k = 1, (1), n \\ j = k, (1), n \end{cases}, \tag{4}$$

$$t_j = \sum_{i=1}^{j} T_{0i}, \tag{5}$$

$$t_{jk} = t_k - t_j := \sum_{i=j}^{k} T_{0i}; \qquad T_{0i} \in \Theta; \qquad T_{0i} \neq \text{const}. \tag{6}$$

n Anzahl der Tastpunkte; T_{0i} nichtäquidistante Tastzeit; $h(t)$ Übergangsfunktion (siehe auch [6])

Der Algorithmus (6) zur Berechnung der t_{jk} ist vom Aufwand $O(n^3)$. Damit wären z. B. bei $n = 100$ Tastpunkten für die Ermittlung eines Übergangsvorgangs etwa 167000 Additionen notwendig. Durch einen Algorithmus, in dem die t_{jk} rekursiv in Matrixform notiert werden, läßt sich der Aufwand auf $O(n^2)$ senken. (Für obiges Beispiel ergeben sich 4950 Additionen [7].)

1.4. Regler

Folgender PID-Geschwindigkeitsalgorithmus wurde verwendet:

$$\begin{aligned} \Delta u(k) = u(k) - u(k-1) = V_R[e(k) - e(k-1)] + \\ + \frac{T_0}{2T_N}[e(k) - e(k-1)] + \\ + \frac{T_V}{T_0}[e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)] \end{aligned} \tag{7}$$

mit

$$G_R(p) = \frac{u(p)}{e(p)} = V_R + pT_V + \frac{1}{pT_N}. \tag{8}$$

1.5. Einstellverfahren für den Regelkreis

Für P-Verzögerungsstrecken verschiedener Ordnung (teilweise mit Laufzeit), wurden nach in der Praxis üblichen Verfahren quasikontinuierliche Reglereinstellungen bestimmt (Tafel).

1.6. Gütekennwerte

Der ergodische Gauß-Abtastprozeß wird bei sprungförmigen Führungs- und Störungssignalen in einen nichtstationären stochastischen Prozeß am Streckenausgang des geschlossenen Abtastregelsystems verwandelt [7]. Durch die Berechnung von Gütekennwerten über einen abgeschlossenen Übergangsvorgang wird eine ergodische Betrachtungsweise möglich. Es werden folgende Gütekennwerte benutzt:

- Betragsregelfläche I_B
- zeitgewichtete Betragsregelfläche I_{TAE}
- quadratische Regelfläche I_Q
- maximale Regelabweichung e_{max} [8].

2. Ergebnisse

Mit den im Abschn. 1. dargestellten Grundlagen wurde ein FORTRAN-IV-Simulationsprogramm für ESER ES 1056 implementiert. Es wurden Simulationen mit den Streckenparametern und Reglereinstellungen nach der Tafel vorgenommen.
Eine Untersuchung der Konvergenz des Monte-Carlo-Simulationsverfahrens erfolgte in [7]. Wegen der schnellen Konvergenz des Verfahrens erweist sich eine Versuchsanzahl von 250 als ausreichend.
Es wurde nachgewiesen, daß die Gütekennwerte einer Normalverteilung unterliegen. (Chi²-Anpassungstests ergaben Übereinstimmung mit mehr als 95% statistischer Sicherheit.)
Damit sind arithmetischer Mittelwert $\bar{I}$ und Standardabweichung s_I der Gütekennwerte zur Beschreibung des Güteverhaltens aus-

Tafel. Reglerparameter für verschiedene Strecken und Einstellverfahren

Strecke	Parameter	Einstell-verfahren	Regler-parameter	Signal	I_0	α_I	β_I
PT_3	$V_S = 1$	ZIEGLER-	$V_R = 9$	Störungs-	$I_B = 0{,}24073$ s	0,111	0,585
	$T_1 = 2$ s	NICHOLS	$T_V = 2{,}9$ s	sprung	$I_{TAE} = 0{,}74065$ s^2	0,711 s	3,29 s
	$T_2 = 1$ s		$T_N = 0{,}15$ s		$I_Q = 0{,}016072$ s^2	$7{,}32 \cdot 10^{-3}$ s	$2{,}44 \cdot 10^{-2}$ s
	$T_3 = 0{,}3$ s				$e_{max} = 0{,}11584$	$1{,}74 \cdot 10^{-2}$ s^{-1}	$3{,}75 \cdot 10^{-2}$ s^{-1}
PT_2T_L	$V_S = 1$	ZIEGLER-	$V_R = 2{,}53$	Störungs-	$I_B = 1{,}1195$ s	0,531	0,77
	$T_1 = 2$ s	NICHOLS	$T_V = 1{,}68$ s	sprung	$I_{TAE} = 4{,}4608$ s^2	4,02 s	4,93 s
	$T_2 = 1$ s		$T_N = 1{,}1$ s		$I_Q = 0{,}3024$ s^2	$0{,}502 \cdot 10^{-1}$ s	0,198 s
	$T_L = 1$ s				$e_{max} = 0{,}38538$	$2{,}45 \cdot 10^{-2}$ s^{-1}	0,137 s^{-1}
				Führungs-	$I_B = 2{,}8703$ s	2,69	3,75
				sprung	$I_{TAE} = 7{,}6568$ s^2	15,6 s	25,6 s
					$I_Q = 1{,}7807$ s^2	1,37 s	2,32 s
PT_4	$V_S = 1$	Betrags-	$V_R = 3{,}75$	Führungs-	$I_B = 0{,}98415$ s	4,04	5,24
	$T_1 = 2$ s	optimum	$T_V = 2{,}5$ s	sprung	$I_{TAE} = 1{,}1654$ s^2	20,8 s	21,4 s
	$T_2 = 1$ s		$T_N = 0{,}8$ s		$I_Q = 0{,}6865$ s^2	0,509 s	2,81 s
	$T_3 = 0{,}3$ s						
	$T_4 = 0{,}1$ s						
PT_3	$V_S = 1$	symmetrisches	$V_R = 8{,}33$	Störungs-	$I_B = 0{,}28713$ s	0,108	0,476
	$T_1 = 1{,}5$ s	Optimum	$T_V = 5{,}0$ s	sprung	$I_{TAE} = 0{,}89415$ s^2	0,628 s	2,51 s
	$T_2 = 1$ s		$T_N = 0{,}288$ s		$I_Q = 0{,}017359$ s^2	$6{,}17 \cdot 10^{-3}$ s	$2{,}86 \cdot 10^{-2}$ s
	$T_3 = 0{,}15$ s				$e_{max} = 0{,}090957$	$1{,}89 \cdot 10^{-2}$ s^{-1}	0,139 s^{-1}
PT_3	$V_S = 1$	TAKAHASHI	$V_R = 4{,}701$	Störungs-	$I_B = 0{,}59593$ s	0,222	1,15
	$T_1 = 1{,}1$ s		$T_V = 1{,}845$ s	sprung	$I_{TAE} = 2{,}3737$ s^2	1,63 s	7,67 s
	$T_2 = 1{,}0$ s		$T_N = 0{,}333$ s		$I_Q = 0{,}070059$ s^2	$2{,}64 \cdot 10^{-2}$ s	0,111 s
	$T_3 = 0{,}9$ s				$e_{max} = 0{,}20316$	$2{,}48 \cdot 10^{-2}$ s^{-1}	$4{,}79 \cdot 10^{-2}$ s^{-1}

reichend. Sie stellen Maximum-Likelihood-Schätzungen für Erwartungswert und Varianz der Gütekennwerte dar.

Im Bild 3 ist der Verlauf von Mittelwert und Standardabweichung eines Gütekennwertes in Abhängigkeit von der Varianz des Gauß-Abtastprozesses σ_G dargestellt.

Daraus ist für das Fallbeispiel erkennbar, daß eine Varianz der Abtastzeit von 10% bewirkt:

- eine maximale Veränderung des Mittelwertes der Betragsregelfläche um etwa 0,4%.
- eine Varianz der Betragsregelfläche von etwa 0,5%.

Das heißt: Normalverteilte Schwankungen der nominalen Reglertastzeit T_0 von 100 ms zwischen rund 70 ms und rund 130 ms (3σ-Intervall) bewirken nur Veränderungen der Betragsregelfläche im Promille-Bereich.

Da eine näherungsweise lineare Abhängigkeit vorliegt, wurde eine Ausgleichung (9) nach der Methode der kleinsten Quadrate MKQ vorgenommen:

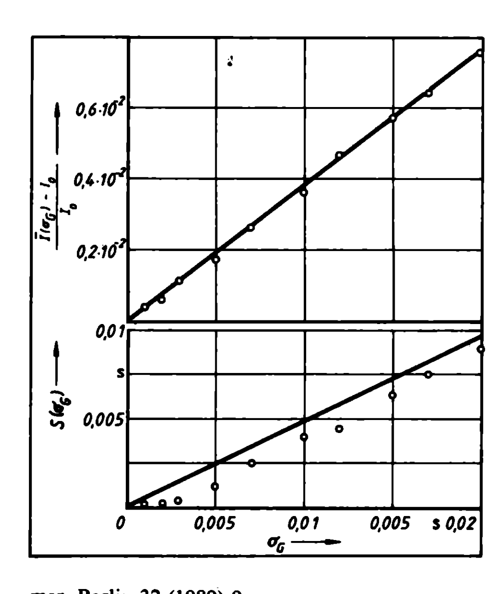


Bild 3. Mittelwert und Standardabweichung der Betragsregelfläche I_B, Einstellverfahren symmetrisches Optimum $E(\Theta) = T_0 \doteq 0{,}1$ s

$$\begin{aligned} \mu(\sigma_G) &\approx \bar{I}(\sigma_G) = \alpha_I \sigma_G + I_0 \,, \\ \sigma(\sigma_G) &\approx S_I(\sigma_G) = \beta_I \sigma_G \,, \\ I_0 &\equiv I(\sigma_G = 0)\,; \quad I \sim N(\mu(\sigma_G), \sigma(\sigma_G)) \,. \end{aligned} \tag{9}$$

Hierbei steht I für einen Gütekennwert I_B, I_{TAE}, I_Q oder e_{max}. Beim Ausgleichen wurden Korrelationskoeffizienten von mindestens 0,96 erreicht. Die ermittelten Werte für α_I und β_I sind in der Tafel enthalten.

Es ist erkennbar, daß der Einfluß der Varianz des Gauß-Abtastprozesses auf den Mittelwert der Gütekennwerte gering und teilweise vernachlässigbar ist. Der Einfluß der Varianz des Gauß-Abtastprozesses auf die Varianz der Gütekennwerte ist demgegenüber dominierend. Dabei sind die β_I wie stationäre Übertragungsfaktoren interpretierbar und schwanken für die berechneten Beispiele zwischen etwa 0,05 und 25.

Aus den in der Tafel dargestellten Beispielen ist ebenfalls ersichtlich, daß der Einfluß eines Gauß-Abtastprozesses auf das Führungsverhalten deutlich größer als auf das Störverhalten ist. Das kann man physikalisch damit erklären, daß die Varianz des Abtastprozesses bei Führung durch den Regler verstärkt wird (Fehler in der Berechnung der Stellsignalfolge), dagegen bei Störung durch die Strecke gedämpft wird.

Weiterhin ist interessant, daß bei den durchgeführten 17000 Simulationsversuchen kein Fall von Instabilität auftrat.

3. Ein Verfahren zur Bestimmung der zulässigen Varianz des Gauß-Abtastprozesses

Von Interesse, beispielsweise für Projektanten von Automatisierungssystemen, ist die Frage, wie die Varianz des Gauß-Abtastprozesses σ_G mit der statistischen Sicherheit S so bestimmt werden kann, daß der entsprechende Gütekennwert in das Intervall $\langle I_0(1-\varepsilon), I_0(1+\varepsilon)\rangle$ fällt.

Für alle untersuchten Fälle konnte die Beziehung

$$VAR\,\Theta = \sigma_G = \frac{\varepsilon I_0}{\sqrt{2}\,\beta_I\,\mathrm{erf}^{-1}(S) + \alpha_I} \tag{10}$$

gewonnen werden.

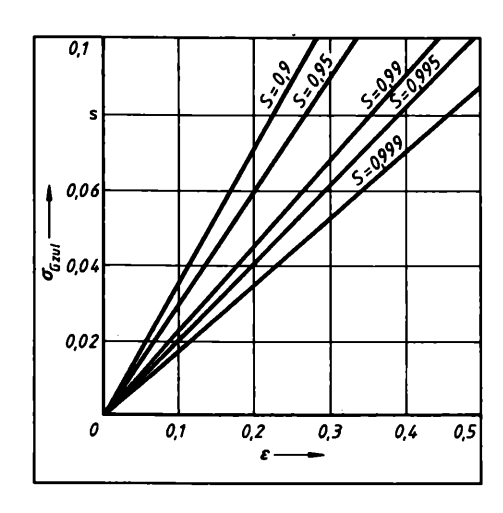


Bild 4.
Zulässige Varianz des Gauß-Abtastprozesses für Betragsregelfläche I_B, Einstellverfahren symmetrisches Optimum

Dazu wurde von folgendem Ansatz ausgegangen

$$\int_{I_0(1-\varepsilon)}^{I_0(1+\varepsilon)} f[\mu(\sigma_G), \sigma(\sigma_G), u]\,du = S. \qquad (11)$$

Da $I(\sigma_G) \approx \mu(\sigma_G) > I_0$ gilt und f symmetrisch bezüglich μ ist, kann (11) wie folgt vereinfacht werden:

$$\int_{\mu(\sigma_G)}^{I_0(1+\varepsilon)} f[\mu(\sigma_G), \sigma(\sigma_G), u]\,du = \frac{S}{2}. \qquad (12)$$

Zentrieren, Normieren und Umwandeln der Normalverteilung in das Fehlerintegral ergibt

$$\operatorname{erf}\left[\frac{I_0(1-\varepsilon) - \mu(\sigma_G)}{\sqrt{2}\,\sigma(\sigma_G)}\right] = \operatorname{erf}\left[\frac{\varepsilon I_0 - \alpha_l \sigma_G}{\sqrt{2}\beta_l \sigma_G}\right] = S. \qquad (13)$$

μ Erwartungswert des Gütekennwerts; σ Varianz des Gütekennwerts; I_0 fehlerfreier Fall des Gütekennwerts; α_l, β_l Ausgleichskoeffizienten; erf(x) Fehlerintegral;

$$\operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x \exp(-t^2)\,dt ([9]);$$

$\operatorname{erf}^{-1}(x)$ inverses Fehlerintegral

Im Bild 4 ist in einem Fallbeispiel die zulässige Varianz des Gauß-Abtastprozesses für verschiedene statistische Sicherheiten aufgetragen.

Läßt man eine Streuung der Betragsregelfläche zu, die mit 99,9%iger Sicherheit kleiner als $\pm 1\%$ sein soll, so darf die Varianz der Reglertastzeit fast 0,002 s betragen. Also darf bei einer nominalen Reglertastzeit T_0 von 100 ms die Reglertastzeit normalverteilt zwischen 94 ms und 106 ms schwanken (3σ-Intervall).

Zusammenfassung

Die Auswirkungen nichtäquidistanter Abtastung auf das dynamische Verhalten geschlossener Regelkreise wurden mittels eines Simulationsverfahrens ermittelt. Dies erfolgte an 6 Fallbeispielen mit verschiedenen Einstellverfahren. Für die Bewertung des dynamischen Verhaltens wurden verschiedene Gütekennwerte herangezogen.

Nichtäquidistante Abtastung führt in geschlossenen Regelkreisen zu Güteverlusten. Im Ergebnis der Simulation wird eine analytische Beziehung zwischen der Intervallüberschreitung des Gütekennwertes und der Varianz des Gauß-Abtastprozesses mit dem Parameter statistische Sicherheit angegeben. Sie gestattet eine ökonomisch günstige Auslegung der Automatisierungsanlage.

Literatur

[1] Doetsch, G.: Anleitung zum praktischen Gebrauch der Laplace-Transformation. München: R. Oldenbourg Verlag 1961.

[2] Giloi, W.: Simulation und Analyse stochastischer Vorgänge. München: R. Oldenbourg Verlag 1970.

[3] Gnedenko, B. W.: Lehrbuch der Wahrscheinlichkeitsrechnung. Berlin: Akademie-Verlag 1978.

[4] Beyer, O.; Girlich, H.-J.; Zschiesche, H.-U.: Stochastische Prozesse und Modelle. Leipzig: BSB B. G. Teubner 1978.

[5] Heymann, D.; Lichtblau, M.: Simulation des Zeitverhaltens eines feldbusgekoppelten Kleinautomatisierungs-Systems. Wissenschaftliche Zeitschrift der TUM 32 (1988) 8, S. 28—30.

[6] Lichtblau, M.: Zur Berechnung der Gewichts- und Übergangsfunktion eines $PT_nD_{tm}T_L$-Gliedes aus der Übertragungsfunktion. msr, Berlin 31 (1988) 1, S. 38—39.

[7] Lichtblau, M.: Simulation des Zeitverhaltens eines dezentralen Meßwerterfassungssystems und Untersuchung der Auswirkungen auf das Verhalten von Regelkreisen. Diplomarbeit, TU Magdeburg, Reg.-Nr.: D 87/614.

[8] Föllinger, O.: Regelungstechnik. Heidelberg: Dr. A. Hüthig-Verlag 1984.

[9] Ryshik, I. M.; Gradstein, I. S.: Tafeln. Berlin: Deutscher Verlag der Wissenschaften 1963.

msr 8909

R. Wieland

LISP — eine Einführung für Automatisierungstechniker 8

Ein abschließendes Beispiel soll das Zusammenwirken von Makros und der Nutzung von CLOSUREs demonstrieren. Es soll ein Prozeßmakro vereinbart werden, der es erlaubt, eine Klasse von Funktionskörpern zu erzeugen, d. h., es soll ein Makro angegeben werden, der eine Funktion mit unterschiedlichen statischen Variablenbelegungen generiert.

```
(DEFMACRO dp args
  '(DEFUN ,(CAR args) ,(CADR args)
    (CLOSURE ',(CADR args) #'(LAMBDA, â(CDDR args))) ))
```

â steht für: #'(APPEND (LIST LAMBDA), (CDDR args))
bildet also nur eine Schreibersparnis und wird häufig in LISP eingesetzt.
dp args liefert also eine Funktion. Dabei muß args aus folgenden Werten bestehen:

1. Funktionsname
2. Liste der statischen Parameter
3. Liste der formalen Parameter
4. LISP-Form, die dann den Funktionskörper bildet.

Wie bei den vorherigen Beispielen wird args als Liste betrachtet und im Makro an die entsprechenden Stellen gesetzt. Erst danach erfolgt die Auswertung.
Damit läßt sich der Integer-Generator elegant definieren:

```
(dp integer-generator (n) () (setf n (+ 1 n)))
(SETF zähler (integer-generator 5))
(SEND zähler)      => 6
```

Auch wenn dieser Makro eventuell auf Anhieb nicht verstanden wird, so verdeutlicht er doch das Grundprinzip einer Makro-Anweisung gut. Zuerst erfolgt eine Übersetzung der Argumente in einer vom Anwender gesteuerten Art, danach wird die erzeugte LISP-Form ausgewertet. Das in LISP verwendete Makrokonzept übersteigt die hier vorgestellten Anwendungen. So ist es beispielsweise möglich, die nach einer Umformung des Makrokerns folgende Auswertung zu unterdrücken. Die Anwendung derartiger Techniken setzt eine sehr genaue Kenntnis der Wirkprinzipien voraus und ist an eine längere Zeit des Umgangs mit LISP gebunden. Hier konnte nur das Grundprinzip vorgestellt werden.

3.3. Packages

Packages dienen der Verwaltung von Moduln in LISP. Damit wird es möglich, Namenskonflikte, die bei der Verwendung gleichnamiger Symbole in unterschiedlichen Programmteilen entstehen können, zu vermeiden. So kann die Funktion „test" in verschiedenen Packages verschieden implementiert sein. Das unterstützt einerseits das Teamwork, kann aber auch seine Entsprechung bei der Modellierung realer Probleme haben (z. B. sind Tests, die in verschiedenen technologischen Systemen durchzuführen sind, in Abhängigkeit vom konkreten System zu modellieren.). Common-LISP erlaubt die Definition von Funktionen in Packages, sichert die Export-Import-Beziehungen zwischen den Packages und ermöglicht darüber hinaus, definierte Packages in eine Hierarchie einzuordnen. Über diese Hierarchie sind dann im Sinne einer Vererbung die Export-Import-Beziehungen geregelt. Leider sind diese Möglichkeiten nicht in GC-LISP implementiert, so daß hier nicht weiter darauf eingegangen werden soll.

3.4. Zusammenfassung

Ziel der bisherigen Ausführungen war es, dem Leser ein gewisses „Gefühl" für die Programmierung in LISP zu geben. Es wurde weder versucht, diese Sprache vollständig darzustellen (die betrachteten Funktionen sind weniger als die Hälfte aller in GC-LISP verfügbaren Funktionen) noch wurde Wert auf eine exakte Beschreibung der Syntax (z. B. im Sinne von BACKUS-NAUR) gelegt. Um LISP für sich selbst zu erschließen, macht sich eine weitergehende Beschäftigung mit der Literatur und vor allem die eigene aktive Tätigkeit am Rechner erforderlich.
Im abschließenden Kapitel soll eine Anwendung von LISP in der künstlichen Intelligenz vorgestellt werden. Ein einfacher rückwärts verketteter Regelinterpreter, der in ausgebauter Form durchaus auch in Expertensystemen eingesetzt werden könnte, wird betrachtet.

4. Anwendungsbeispiel

Es soll ein aus der Literatur bekannter Regelinterpreter [2], der speziell für GC-LISP aufbereitet wurde, vorgestellt werden. Mit diesem Interpreter kann eine einfache Regelbasis verwaltet werden.
In dieser Regelbasis befinden sich Regeln folgender Form:

$$p_1 \wedge p_2 \wedge p_3 \wedge \ldots \wedge p_n \Rightarrow q\,.$$

Aus der Konjunktion der Prämissen p_i ergibt sich die Schlußfolgerung q. Im Beispiel soll die Schlußfolgerung lauten

(Zündung Funktion defekt) ⇒ (Auto Funktion defekt) .

Die einzelnen p_i und q_j werden als assoziative Tripel dargestellt: (Merkmal Eigenschaft Wert).
Der Regelinterpreter verwaltet neben der Regelbasis noch eine Faktenbasis, in der solche Tripel gespeichert werden können. Des weiteren ist es möglich, einzelnen Merkmalen eine Eigenschaft 'ask zuzuordnen, die dann eine Generierung einer Anfrage während des Problemlösungsprozesses bewirkt. Der Regelinterpreter versucht, auf eine Anfrage zuerst diese aus seiner Datenbasis zu recherchieren. Falls dieses nicht gelingt (was die Regel sein wird), überprüft er, ob die Anfrage eventuell vom Nutzer eingegeben werden muß (auch dieses wird anfangs nicht auftreten). Zuletzt versucht er, die formulierte Anfrage mittels seiner in der Regelbasis vorhandenen Regeln zu beweisen. Er geht dabei vom Ziel aus, d. h., bei einer Anfrage

(?? 'AUTO 'FUNKTION)

würde zuerst der Zustand der Zündung überprüft. Da dieser Zustand nicht explizit in der Datenbasis vorhanden ist und auch nicht erfragt werden kann, versucht der Regelinterpreter als nächstes, den Zustand der Zündung aus seiner Regelbasis abzuleiten. Hier wird schon die Rekursivität des Regelableitungsprozesses deutlich. Der Regelinterpreter überprüft danach die Batteriespannung usw. Es ist möglich, daß der Interpreter (in Abhängigkeit von der Beantwortung der Fragen auf Spannung und Regelmäßigkeit des Zündfunkens) schließlich die Zündung und damit den Zustand des Autos als defekt diagnostiziert.
Dieser Regelinterpreter ist natürlich nicht sehr leistungsfähig, demonstriert aber recht anschaulich die Vorgehensweise bei der Arbeit mit derartigen KI-Systemen.

Programmbeispiel Rückwärtsinterpreter:

```
(DEFUN ?? (OBJ PROP)
  (LET ((PROP1 PROP))
  (IF    (LISTP (ESTABLISH-GOAL OBJ  PROP))
         (ESTABLISH-GOAL OBJ PROP)
         (ESTABLISH-GOAL OBJ PROP))) )
```

Erklärung:

?? ist die Startfunktion des Regelinterpreters. Sie wurde nur genutzt, um eine bequemere Eingabemöglichkeit und eine einfache Antwort auf dem Bildschirm zu erzeugen. Hier erfolgt der Aufruf der Hauptschleife des Regelinterpreters (ESTABLISH-GOAL).

```
(DEFUN ESTABLISH-GOAL (CUR-OBJ CUR-PROP)
  (COND ((FIND-PROP-IN-DB CUR-OBJ CUR-PROP))
         ((NON-DEDUCIBLE CUR-PROP)
          (ASK CUR-OBJ CUR-PROP))
         ((PROVE-RULES (SELECT-RULES (GET-RULES
           CUR-PROP) CUR-OBJ CUR-PROP)))
  (T NIL)))
```

Erklärung:

ESTABLISH-GOAL steuert die Problemlösung in folgenden Schritten:

1. IF Wertetripel in der lokalen Datenbasis *DB* enthalten THEN gib Wert zurück und RETURN (FIND-PROP-IN-DB).
2. IF Wertetripel nicht deduzierbar THEN erfrage den Wert und RETURN (ASK).
3. IF durch Auswertung von Regeln Wert deduzierbar THEN gib deduzierten Wert zurück und RETURN (PROVE-RULES (SELECT-RULES (GET-RULES ...) ...)) ELSE gib NIL zurück und RETURN.

```
(DEFUN FIND-PROP-IN-DB (OBJ PROP)
  (DO ((L *DB* (CDR L)) (RESULT NIL)
       (FACTS (ASSOC OBJ *DB*)))
      ((OR (NULL FACTS)
           (NOT (NULL RESULT))) RESULT)
      (WHEN (EQ (CADR FACTS) PROP)
            (SETF RESULT (CADDR FACTS)))
      (SETF FACTS (ASSOC OBJ L))) )
```

Erklärung:

FIND-PROP-IN-DB sucht das spezifizierte Wertetripel in *DB* und gibt, falls erfolgreich, den Wert zurück.

```
(DEFUN ASK (OBJ PROP)
   (FORMAR T „~% WAS IST ~A VON ~A ?“ PROP OBJ)
   (FORMAT T „~% ERWARTETER WERT: ~A“
      (GET-VALUE OBJ PROP))
   (FORMAT T „~% “)
   (LET ((ANS (READ)))
        (SETQ *DB* (CONS (LIST OBJ PROP ANS) *DB*))
        ANS) )
```

Erklärung:

ASK erfragt den Wert vom Nutzer und schreibt diesen Wert als vollständiges Wertetripel in die lokale Datenbasis *DB*.

```
(DEFUN GET-VALUE (OBJ PROP)
  (DO ((L (GET-RULES PROP1) (CDR L))
        (HILF NIL) (RETURN NIL))
      ((NULL L) RETURN)
      (WHEN (SETF HILF (CADDR (ASSOC OBJ
         (CAAR L))))
              (PUSH HILF RETURN))) )
```

Erklärung:

Hilfsfunktion, die von ASK genutzt wird, um gezielt nach dem einzugebenen Wert zu fragen.

```
(DEFUN PROVE-RULES (RULES)
  (COND ((NULL RULES) NIL)
        ((CHECK (GET-PREMISE (CAR RULES)))
         (ESTABLISH-CONC (GET-ACTION
          (CAR RULES))) )
  (T     (PROVE-RULES (CDR RULES))) ))
```

Erklärung:

Steuert die Auswertung von Regeln.

1. IF keine Regeln vorhanden THEN NIL und RETURN.
2. IF erste Regel löst das Problem erfolgreich (CHECK ...) THEN trage das Ergebnis in die lokale Datenbasis ein (ESTABLISH-CONC ...) und gib den aus der Problemlösung ermittelten Wert zurück und RETURN.
3. ELSE rufe PROVE-RULES mit dem Rest der Regelmenge rekursiv auf.

```
(DEFUN CHECK (CONDITIONS)
  (COND ((NULL CONSITIONS) T)
        ((MEMBER (CAR CONDITIONS) *DB* : TEST
          'EQUAL) (CHECK (CDR CONDITIONS)))
        ((ESTABLISH-GOAL (CAAR CONDITIONS)
          (CADAR CONDITIONS))
         (COND ((MEMBER (CAR CONSITIONS) *DB* :
                TEST 'EQUAL) (CHECK (CDR
                CONDITIONS)))
         (T NIL)))
  (T NIL)))
```

Erklärung:

CHECK bildet neben ESTABLISH-GOAL die Hauptfunktion des Regelinterpreters. ESTABLISH-GOAL ruft über PROVE-RULES CHECK auf, und CHECK kann seinerseits ESTABLISH-GOAL aktivieren. Das ist deshalb nötig, da die mit CHECK zu beweisenden Unterziele auch wieder komplexer Natur sein können. Diese Unterziele können beispielsweise wieder durch den Nutzer zu beantworten sein (ASK) bzw. selbst eine Regel darstellen, die ihrerseits indirekt CHECK wieder aktiviert. Hier kommen die Vorzüge der rekursiven Programmierung voll zum Tragen. Die CONDITIONS (Bedingungen) stellen die Menge der Wertetripel dar, die gleichzeitig erfüllt sein müssen, um das Problem zu lösen.

CONDITIONS = $\{p_1, p_2, p_3, \dots, p_n\}$

$$p_1 \wedge p_2 \wedge p_3 \wedge \dots \wedge p_n \Rightarrow q$$

CHECK arbeitet in folgenden Schritten:

1. IF alle Bedingungen abgearbeitet THEN T und RETURN.
2. IF erste Bedingung in *DB* THEN CHECK den Rest der Bedingungen.
3. IF erste Bedingung erfüllt (ESTABLISH-GOAL ...) THEN
   IF das durch ESTABLISH-GOAL aktivierte und in *DB* gespeicherte Ergebnis gleich dem zu beweisenden p_1
   THEN CHECK den Rest der Bedingungen
   ELSE NIL und RETURN
   ELSE NIL und RETURN

```
(DEFUN ESTABLISH-CONC (ACTION)
  (LET ((OLDVAL (FIND-PROP-IN-DB (CAR ACTION)
        (CADR ACTION))))
        (COND((NULL OLDVAL)(SETQ*DB*(CONS
        ACTION *DB*))) (T (RPLACA OLDVAL ACTION)) )))
```

Erklärung:

Hilfsfunktion zur Speicherung abgeleiteter Zwischenziele in der lokalen Datenbasis *DB*

```
(DEFUN NON-DEDUCIBLE (PROP) (GET PROP 'ASK))
(DEFUN GET-PREMISE (RULE) (CAR RULE))
(DEFUN GET-ACTION (RULE) (CADR RULE))
(DEFUN GET-RULES (PROP) (GET PROP 'RULES))
```

Erklärung:

Einfache Hilfsfunktionen, die nur der besseren Übersichtlichkeit wegen eingeführt wurden.

```
(DEFUN SELECT-RULES (RULES OBJ PROP)
   (COND ((NULL RULES) NIL)
              ((EQUAL OBJ (CAR (GET-ACTION (CAR
                RULES))) ) (CONS (CAR RULES)
                      (SELECT-RULES (CDR RULES) OBJ PROP)))
      (T (SELECT-RULES (CDR RULES) OBJ PROP))) )
```

Erklärung:

SELECT-RULES wählt aus allen Regeln diejenigen aus, die für den Beweis des Unterzieles in Frage kommen.

```
(defmacro put frm
  '(setf (get ,(car frm) ,(cadr frm)) ,(caddr frm)))
```

Bemerkung: RPLACA bewirkt die physische Ersetzung des CAR einer Liste.

Beispiel einer Regelbasis

```
(SETQ *DB*'((STROMLEITUNG FUNKTION OK)))

(PUT 'FUNKTION 'RULES
  '( (((ZUENDUNG FUNKTION DEFEKT))
     (AUTO FUNKTION DEFEKT))
    (((VERGASER FUNKTION DEFEKT))
     (AUTO FUNKTION DEFEKT))
    (((BATTERIE SPANNUNG NICHT-12))
     (ZUENDUNG FUNKTION DEFEKT))
    (((BATTERIE SPANNUNG 12)(ZUENDKERZE
     FUNKE UNREGELMAESSIG) (STROMLEITUNG
     FUNKTION OK))
    (ZUENDUNG FUNKTION DEFEKT))) )
(PUT 'SPANNUNG 'ASK T)
(PUT 'FUNKE 'ASK T)
```

Die Regeln sind wie folgt zu lesen:

1. (Zündung Funktion defekt) ⇒ (Auto Funktion defekt)
2. (Vergaser Funktion defekt) ⇒ (Auto Funktion defekt)
3. (Batterie Spannung = 12) ⇒ (Zündung Funktion defekt)
4. (Batterie Spannung = 12) (Zündkerze Funke unregelmäßig) (Stromleitung Funktion ok) ⇒ (Zündung Funktion defekt).

Der Nutzer wird nach dem Wert der Spannung und der Art des Zündfunkens gefragt.
In der lokalen Datenbasis *DB* befindet sich der Zustand der Zuleitung (Stromleitung Funktion ok).
Über dieser einfachen Wissensbasis kann jetzt der Regelinterpreter Ableitungen durchführen.
Dieses Beispiel sollte einen Eindruck vermitteln, wie schon mit wenigen LISP-Funktionen einfache Regelinterpreter simuliert werden können.

Literatur

[1] Winston, P.; Horn, B.: LISP. Massachusets: Addison-Wesley 1981.

[2] Stoyan, H.: Einführung in die Programmiersprache LISP. Berlin: Springer-Verlag 1984.

msr 8903

Die Fortsetzungsreihe ist damit beendet. Wir bedanken uns herzlich beim Autor. *Red.*

Kurzbeiträge

Bemerkungen zu einer Testfolge

Das Protokoll umfangreicher Testfolgen, hier am Beispiel mehrjähriger Schaltversuche an einer Fernsteuerung unter speziellen Bedingungen dargestellt, bietet neben interessanten Einblicken in gewisse innere Beziehungen auch gute Möglichkeiten zur Überprüfung der Aussagekraft von Stichproben begrenzten Umfangs N_i bezüglich des Gesamtkollektivs sowie der Glaubwürdigkeit von formalen Kriterien.
Basis ist die fortlaufende Registrierung der jeweiligen Anzahl $x \doteq 0, 1, 2, \ldots$ („Wartepausen") der positiven Befunde zwischen den Ausfällen. Die Häufigkeitsanalysen ergeben bei der Gesamtmenge ($N = 1000$) und allen Stichproben $A \ldots S$ ($N_i = 50$) durchweg „Pascal-Verteilungen" [1]. Sie lassen sich einheitlich approximieren mit der Rekursionsformel [1]

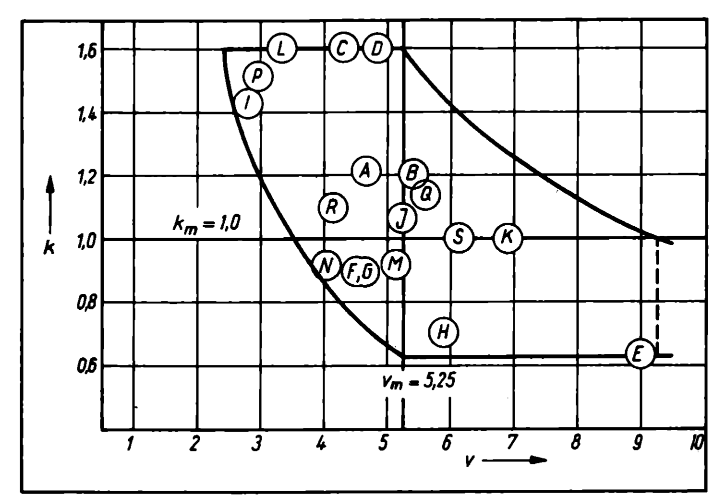
$$p_x = p_{x-1} \cdot \frac{v}{v+1} \cdot \frac{k-1+x}{x}, \qquad p_0 = (v+1)^{-k} \tag{1}$$

und den im Bild 1 in den zufallsbedingten Grenzen zusammengestellten Parameterpaaren v, k.
Dabei ist folgendes anzumerken: Würde man formal z. B. mit dem „Doppelten t-Test" [2] überprüfen, ob die beiden Extremfälle I und D demselben Gesamtkollektiv entstammen oder nicht, käme man mit der dabei errechneten Testgröße $t = 3{,}5$ wegen $t > t_{100;0,995} = 2{,}63$ zur Ablehnung der Hypothese H_0 auf Übereinstimmung und folglich zu einem offensichtlichen Fehlschluß. Man darf eben nicht den Einfluß der real existierenden Unsymmetrien kritiklos außer acht lassen. Einzig praktikabel und mit den natürlichen Gegebenheiten vereinbar erscheint der Weg über eine Gleichung, die H. von Schelling zur Genauigkeit des Mittelwerts einer Stichprobe (N_i) definierte [3]. Danach läßt sich bei gegebenem $\bar{X} = vk$ auf die zufallsbedingten Grenzwerte schließen gemäß dem folgenden (geeignet umgeformten) Ausdruck

$$\bar{X}_{\text{extr}} = vk \cdot \left[1 \pm 3 \cdot \sqrt{\frac{(v+1) \cdot (N - N_i)}{vk \cdot (N_i - 1) \cdot N}} \right]. \tag{2}$$

Vorliegend ergäben sich $\bar{I}_{\max} = 5{,}4$ und $\bar{D}_{\min} = 4{,}8$ mit Überdeckung des Mittelwertes $\bar{X}_m = 5{,}25$ beim Gesamtkollektiv. Damit dürfte bestätigt sein, daß alle Stichproben aus ein und demselben Kollektiv stammen und die beobachteten Streuungen rein zufallsbedingt sind. Der theoretische Grenzbereich für v, k (s. Bild)

Bild. Streubereich der Stichprobenparameter v, k ($N_i = 50$)



läßt sich iterativ nach (2) mit Vorgabe von $\bar{X}_{extr} = \bar{X}_m$ und $N_i = 50 \ll N$ sowie wechselweise v = konst. bzw. k = konst. berechnen, ausgehend von $v_m = 5{,}25$ und $k_m = 1$.
Der Schluß auf durchgängig gleichen Charakter der Testfolge wird gestützt durch die folgende Untersuchung der statistischen Verteilung der (positiven und negativen) Zuwächse $x_i - x_{i-1}$ im gleichen Protokoll: In allen analysierten Fällen zeigt sich im Wahrscheinlichkeitsnetz ein symmetrischer S-förmiger Verlauf. Diese Form ist bekanntlich typisch für ein Mischkollektiv mit „Exzeß" [4] und läßt auf das Vorhandensein von zwei ausgeprägten Teilkollektiven mit gleichem Zentralwert Null, aber verschieden großen Streuungen ($\sigma_1 > \sigma_2$) und Anteilen $\alpha_{1,2}$ schließen.
Die Anteile α_1 und $\alpha_2 = 1 - \alpha_1$ lassen sich verhältnismäßig einfach im Wahrscheinlichkeitsnetz bestimmen, wobei man gut die Symmetrieeigenschaft durch Umklappen der Meßpunkte um den Zentralwert für den Abgleich ausnutzen kann. Die Abgleichkurve liefert zunächst direkt die Größe σ aus dem Schnitt mit der Ordinate y (15,87%). Approximiert man den Außenbereich, in dem ja das erste Teilkollektiv dominiert, durch eine Gerade und liest deren Schnittpunkt Δ^* mit der (z. B.) Ordinate y (2,5%) ab, kann man dann aus dem Wert $y(\Delta^*/2)$ bei der (halbierten) Abszisse $\Delta^*/2$ erste Schätzwerte für α_1 und σ_1 aus dem folgenden Zusammenhang erhalten:

$y(\Delta^*/2)$ in %	15,2	14,1	12,8	11,6	10,3	8,9	7,3
α_1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3
σ_1/Δ^*	0,52	0,54	0,554	0,58	0,61	0,65	0,72

Den Schätzwert für σ_2 findet man aus dem Schnittpunkt der Abgleichkurve mit einer Äquidistanten zur ersten Teilkurve im Abstand $15{,}87 \cdot (1 - \alpha_1)$ %.
Die Ergebnisse sind iterativ zu korrigieren anhand der Beziehung

$$\alpha_1 \cdot F(\sigma/\sigma_1) + (1 - \alpha_1) \cdot F(\sigma/\sigma_2) = F(1) = 15{,}87\,\% . \quad (3)$$

F Komplement der Gauß-Funktion

Es liegt nahe, auch bei den Wartepausen ein entsprechendes Mischkollektiv anzunehmen. Dabei hatte sich zunächst insgesamt folgender empirischer Zusammenhang angedeutet:

$$\sigma = k \cdot (v + 1) = \bar{X} + k . \quad (4)$$

Daraus folgt bei Aufteilung in 2 Mengen

$$\left.\begin{aligned} &\sigma_1\alpha_1 + (1 - \alpha_1)\,\sigma_2 - \bar{X} = \alpha_1 k_1 + (1 - \alpha_1)\,k_2 , \\ &v_i + 1 = \sigma_i/k_i . \end{aligned}\right\} \quad (5)$$

Eine weitere Beziehung läßt sich angeben aus der Identität vom Anfangswert S_0 der (abgeglichenen) Summenkurve [1] und der Summe $p_{01} + p_{02}$ des jeweils ersten (umgeformten) Gliedes von (1):

$$\alpha_1 \cdot (k_1/\sigma_1)^{k_1} + (1 - \alpha_1) \cdot (k_2/\sigma_2)^{k_2} = S_0 . \quad (6)$$

Schrittweise lassen sich danach passende Parameterpaare k_1, k_2 und v_1, v_2 bestimmen, gegebenenfalls mit geeigneten Korrekturen der Schätzwerte. Anzumerken ist, daß man gelegentlich bei den Iterationen auch auf zwei Lösungen stoßen kann; diese sind dann (etwa 50:50) zu kombinieren.
Nachrechnungen auf dieser Basis zeigten tatsächlich eine Verbesserung der Approximationsgüte, im wesentlichen im Anfangsbereich der Häufigkeiten. Die Ergebnisse im Bild 1 werden davon kaum berührt, nur daß die Schwankungen auf solche der Teilgrößen und deren Kombinationen zurückgeführt sind.
Bei der Überprüfung dieses Komplexes auf Zufallsbedingtheit war wieder eine Diskrepanz zwischen den Aussagen einiger Kriterien zu beobachten: Vergleicht man z. B. (bei gleichen Mengen $N_i = 50$) den Anteil $\alpha_e = 0{,}8$ beim Extremfall mit dem mittleren Erwartungswert $\alpha_m = 0{,}52$ aus dem Gesamtkollektiv nach dem „χ^2-Unabhängigkeitstest" [2], würde man folgendes Ergebnis erhalten:

$$\chi^2 = 8{,}7 > \chi^2_{1;0,99} = 6{,}6 .$$

Das heißt aber, daß die Hypothese H_0 der Unabhängigkeit abzulehnen wäre. Man schlösse (fälschlicherweise) auf Signifikanz der Unterschiede. Das dürfte aber wohl kaum den Gegebenheiten genügen. Die zu erwartende Zufallsbedingtheit wird demgegenüber bestätigt, z. B. durch die „Schellingsche Trefferprobe" [5]. Auch der „Webersche Differenzentest" (E. Weber, 1935) [5] führt zum gleichen Ergebnis mit der (hier umgeformten, $\mu = \alpha_e + \alpha_m$) Testgröße

$$W = (\alpha_e - \alpha_m) \cdot \sqrt{\frac{2N_i - 1}{\mu \cdot (2 - \mu)}} = 2{,}9 < 3 . \quad (7)$$

Auch bei den Teilstreuungen $\sigma_{1,2}$ läßt sich ein entsprechender Nachweis führen.

Literatur

[1] Hilscher, K.: Geschlossene Beschreibung statistischer Verteilungen. msr, Berlin 31 (1988) 7, S. 320—321.
[2] Storm, R.: Wahrscheinlichkeitsrechnung, mathematische Statistik und statistische Qualitätskontrolle. 8. Auflage. Leipzig: VEB Fachbuchverlag 1986.
[3] Schelling, H. von: Statistische Schätzungen. ZAMM 21 (1941) 1, S. 52—58.
[4] Daeves, K.; Beckel, A.: Großzahl-Methodik und Häufigkeits-Analyse. 2. Auflage. Weinheim: Verlag Chemie 1958.
[5] Gebelein, H.: Verfahren zur Beurteilung einer sehr geringen Korrelation zwischen zwei statistischen Merkmalsreihen. ZAMM 22 (1942) 5, S. 287—298.

msr 9065

Dr.-Ing. K. Hilscher, Berlin

Zweidimensional messender Positionierschaltkreis mit digitalem Interface

Einleitung

Der verstärkte Einsatz der Rechentechnik zur Überwachung und Führung von Prozessen erfordert neue Bauelemente der Sensortechnik. Hauptsächliches Augenmerk muß dabei auf Kriterien wie hohe Auflösung, Störsicherheit und Verschleißfreiheit gelegt werden. Eine direkte Anschlußmöglichkeit an die Rechentechnik, speziell an Mikro- und Einchiprechner, ist eine weitere wesentliche Forderung [1].
Im folgenden Beitrag soll der im Zentralinstitut für Kernforschung Rossendorf (ZfK) der AdW der DDR entwickelte und im VEB Robotron Elektronik Radeberg (RES) gefertigte, zweidimensional messende, hybridintegrierte, optische Positionierschaltkreis (HIPFDD) vorgestellt werden. Dieser Schaltkreis, der den neuen Forderungen weitgehend entspricht, gestattet Positionierungen mit einer Wiederholgenauigkeit im Bereich von 2 µm. Dabei wird ein Lichtstrahl als Koppelmedium auf einer aktiven Fläche von 10 mm × 10 mm bewegt. Über eine Veränderung der Koppelbedingungen sind entsprechende Maßstabsveränderungen möglich. Anwendungsmöglichkeiten sind in der Mikroelektrotechnik, im Maschinen- und Rationalisierungsmittelbau sowie bei Messungen an Bauwerken und im Bergbau gegeben [2] und [3].

1. Beschreibung des Schaltkreises

Ausgehend von der Entwicklung des Schaltkreises HIPFD im ZfK, der nur analoge Informationen ausgeben konnte und in [4] ausführlich beschrieben wurde, erfolgte eine Weiterentwicklung, die neben der Erhöhung der Auflösung die Integration eines Analog/Digital-Wandlers (ADC) zum Inhalt hatte. Damit wurde die Mög-

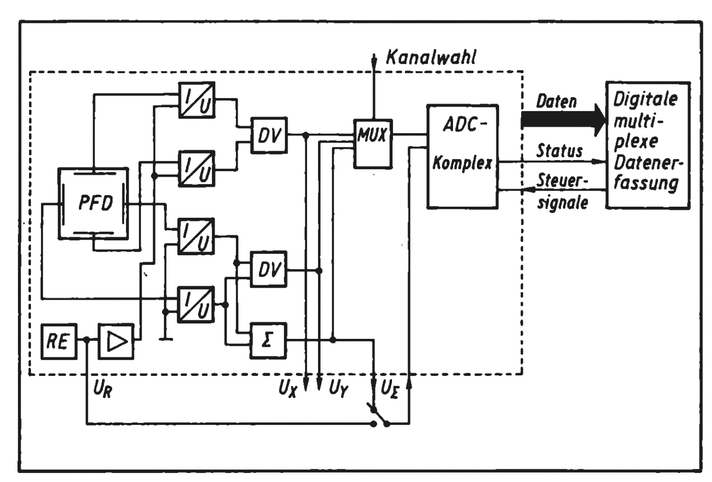


Bild 1. Blockschaltbild des Positionierschaltkreises HIPFDD
PFD positionsempfindlicher Sensor; *I/U* Strom/Spannungswandler; *DV* Differenzverstärker; *Σ* Summierverstärker; *RE* Referenzelement; *MUX* Meßstellenumschalter

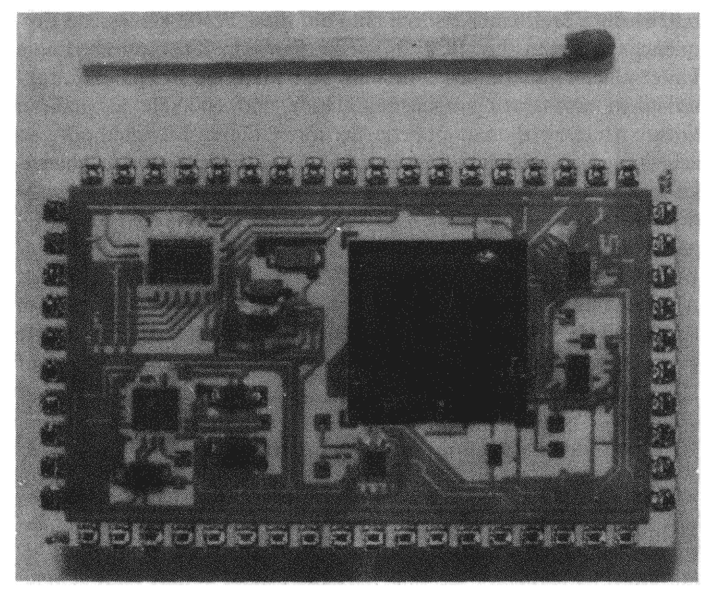


Bild 2. Unverkappter Positionierschaltkreis

lichkeit eines digitalen Anschlusses zu Rechnern geschaffen. Gleichzeitig ist eine direkte Kopplung von Zifferndisplays möglich.

2.1. Sensorelement

Als Sensorelement findet eine zweidimensional messende positionsempfindliche Vollflächendiode (PFD) aus dem ZfK Anwendung. Es ist aber auch möglich, die Vollflächendiode SP119X vom VEB Werk für Fernsehelektronik Berlin einzusetzen. Die PFD erzeugt elektrische Ausgangssignale mit den Informationen über die Lage des Einfallortes (*X*, *Y*) und die Intensität (*P*) des Lichtbündels, das auf die empfindliche Oberfläche auftrifft. Die Koordinatenwerte des einfallenden Lichtstrahles stellen stets den Intensitätsschwerpunkt dar, so daß keine großen Anforderungen an die Strahlgeometrie gestellt werden müssen [4].

2.2. Signalverarbeitung

Um den eingangs genannten Forderungen nachzukommen, ist direkt um den Sensor die Nachfolgeschaltung angeordnet. Der Gesamtschaltkreis HIPFDD ist im Bild 1 als Blockschaltbild dargestellt. Die Signale der PFD werden über Strom/Spannungs-Wandler geführt. Über Differenzverstärker werden danach die Richtungssignale $U(x)$ und $U(y)$ sowie das Intensitätssignal *P* gewonnen. Diese Signale werden einmal aus dem Schaltkreis herausgeführt, um weiterhin die Analogwertverarbeitung zu ermöglichen. Andererseits werden diese drei Signale einem Analogwertmultiplexer und einem Analog/Digital-Wandler-Komplex zugeführt.
Durch den Aufbau dieser Gesamtschaltung in unmittelbarer Nähe des Sensors wird eine Störbeeinflussung aus der Umgebung weitgehend ausgeschlossen, und die Übertragung der vorverarbeiteten Signale (Analog- und Digitalwerte) ist einfach und störsicher möglich. Der Gesamtschaltkreis ist auf einem Keramiksubstrat von 50 mm × 30 mm untergebracht. Die Außenbeschaltung wird über 56 Anschlußpins ermöglicht. Im Bild 2 ist der bestückte Hybridschaltkreis ohne Verkappung dargestellt.

2.3. Ausgangssignale

Die drei Ausgangssignale stehen als Analogspannungen $U(x)$, $U(y)$, P) und als Digitalinformationen über ein 5stelliges BCD-Interface zur Verfügung. Die Analogspannungen liegen im Bereich −10 V ... +10 V bei einem Ausgangswiderstand von etwa 2 kΩ. Sie sind für Aufgaben vorgesehen, für die eine schnelle AD-Konvertierung über Mikrorechner notwendig ist. Der interne ADC-Komplex gestattet etwa 20 Umsetzungen/s mit einer wahlweisen Genauigkeit von $4^1/_2$ oder $3^1/_2$ Stellen. Das entspricht einer theoretischen Ortsauflösung von 0,25 bzw. 2,5 µm. Die Informationsbereitstellung der Digitalwerte erfolgt gemäß C504-Standard [5].

2.4. Hauptkennwerte

Die nachfolgenden Parameter stellen vorläufige Hauptkennwerte dar, da sich dieser Schaltkreis noch in der Musterfertigung befindet:

— aktive Fläche des Sensors	10 mm × 10 mm
— spektrale Empfindlichkeit (10% vom Maximum)	400 ... 1000 nm
— maximale Empfindlichkeit	750 ... 900 nm
— Linearitätsfehler der PFD	≦1%
— Linearitätsfehler des Gesamtschaltkreises	≦3%
— theoretische Auflösungsgrenze	0,25 µm bzw. 2,5 µm
— Wiederholgenauigkeit	≦2 µm
— analoge Ausgangssignale $U(x)$, $U(y)$, $U(p)$	−10 V ... 0 ... +10 V
— digitale Ausgabe	5 Stellen seriell 4 bit BCD
— Betriebsspannungen	+15 V/10 mA −15 V/10 mA + 5 V/50 mA ohne externes Display − 5 V/10 µA

3. Einsatzfälle

Die bereits für den Analogschaltkreis in [4] beschriebenen Einsatzfälle sind natürlich auch für diesen Schaltkreis relevant. Bemerkenswert ist die Vielfalt der Einsatzgebiete, da sich sehr viele Aufgaben über eine entsprechende Kopplung auf die Projektion eines Lichtbündels auf den Positionierschaltkreis HIPFDD zurückführen lassen.
Als wesentliche Funktionen seien die Registrierung von

- ein- und zweidimensionalen sowie rotatorischen Bewegungen
- Winkel- und Positionsmessungen

genannt.
Daraus ergibt sich ein weites Einsatzfeld von der Positionierung einfacher Teile bis zur Roboterführung und der Bewegungs- bzw. Schwingungsmessung an Maschinenteilen bis hin zu Brückenkonstruktionen.

Zusammenfassung

Der vorgestellte Hybridschaltkreis HIPFDD ist ein neues Sensorelement zur zweidimensionalen optischen Koordinatenmessung im Bereich von 10 mm × 10 mm. Er liefert als Ausgangssignale Analogwerte −10 V ... +10 V und eine äquivalente Digitalinformation gemäß C504-Schnittstelle. Man kann damit Positionierungen mit einer Genauigkeit kleiner 2 µm erreichen. Die Einsatzgebiete sind sehr weit gefächert. Durch die Integration der Vorverarbeitungselektronik mit dem Sensor zu einem komplexen Bauelement werden hohe Störsicherheit und mechanische Robustheit erreicht. Die Ausgangsdaten gestatten eine einfache Verbindung mit rechen- und regelungstechnischen Anlagen.

(Fortsetzung auf S. 419)

Breitbandsensor für die Schallemissionsanalyse

Einleitung

Bei der Schallemissionsanalyse ist sowohl die Vergleichbarkeit der Meßergebnisse als auch die Charakterisierung der eigentlichen Schallquelle stets dadurch erschwert, daß die üblichen Schallsensoren ein kompliziertes Übertragungsverhalten aufweisen. Die zur Auswertung herangezogenen Signalmerkmale werden erheblich vom Sensor beeinflußt und so nicht allein durch den zu untersuchenden Prozeß bestimmt. Der Sensor verfälscht die Signalform im Zeitbereich, wodurch eine Anhebung bzw. Unterdrückung der Signalleistung in sensorspezifischen Frequenzbändern auftritt. Dieses Verhalten ist besonders für die aufgrund ihrer hohen Empfindlichkeit und Robustheit allgemein bevorzugten piezoelektrischen Sensoren typisch und prinzipiell konstruktionsbedingt. Die Eigenfrequenzen der piezokeramischen und anderer mechanischer Bauelemente, deren Dämpfungseigenschaften und die Schallreflexionen bzw. Modenwandlungen an den inneren Grenzflächen ergeben in ihrem Zusammenspiel Empfindlichkeitsschwankungen im Sensorarbeitsbereich von 20 dB und mehr. Im allgemeinen wird Schallemissionsanalyse im Frequenzbereich $0{,}1 < f < 2{,}0$ MHz betrieben. Anzustreben sind Sensoren, die in diesem Bereich bei ausreichender Empfindlichkeit einen möglichst linearen Frequenzgang aufweisen.
Lösungen dazu wurden u. a. in [1] und [2] vorgeschlagen. Beide Entwürfe sind durch nahezu punktförmige Berührungsflächen zwischen Aufnehmer und Probe sowie relativ große Dämpfungsmassen gekennzeichnet. In [2] wird darüber hinaus eine speziell geformte Piezokeramik benutzt. Für den vorzustellenden Sensor wurde vom letztgenannten Vorschlag ausgegangen.

1. Beschreibung des Sensors

Bild 1 zeigt den prinzipiellen Aufbau des Sensors (nach [2]). Die Dämpfungsmasse (Messing) ist sowohl axial als auch radial ausgedehnt. Messing sichert durch seine gute akustische Anpassung an die Piezokeramik und die relativ hohe innere Dämpfung das gewünschte reflexionsarme Sensorbacking. Die konische Form des piezokeramischen Elementes hält die Kontaktfläche zum Probekörper klein, ohne die Kapazität des Sensorelementes unnötig zu verringern. Die kleine Kontaktfläche verhindert Oberflächenwelleninterferenzen, die ab Wellenlängen im Bereich des Kontaktflächendurchmessers auftreten. Sowohl die starke Bedämpfung des Sensorelementes als auch seine vergleichsweise geringe Kapazität bedeuten eine Verringerung der Sensorempfindlichkeit. Bis auf die unvermeidbare Grenzfläche zwischen Piezokeramik und Dämpfungskörper ist bei dieser Konstruktion auf alle weiteren „grenzflächenerzeugenden" Baugruppen, z. B. eine Grundplatte, verzichtet worden. Als Konsequenz folgt, daß die Piezokeramik direkt an den Probekörper angekoppelt wird. Damit kommen zunächst nur metallische Probekörper in Betracht.
Bei der Realisierung des Aufbaus (Bild 2) wurden Dämpfungsmasse und Piezoelement in vertikaler Richtung beweglich in einem Abschirmgehäuse untergebracht. Dadurch wird bei horizontaler Probenoberfläche der Kontakt zum Piezoelement durch das Eigengewicht der beweglichen Teile auf gut reproduzierbare Art hergestellt. Allerdings sind an die Probenoberfläche hohe Qualitätsansprüche zu stellen. Der elektrische Kontakt zur Probe wird über das gleichfalls aufliegende und gegebenenfalls angepreßte Gehäuse hergestellt. Eine Dämpfung der hauptsächlich empfangenen Oberflächenwelle ist hierdurch nicht zu befürchten.
Steht keine horizontale Probenoberfläche zur Verfügung bzw. sind Erschütterungen unvermeidbar, so ist für den Andruck des Piezoelementes eine galvanisch getrennt einzusetzende Feder zwischen Dämpfungsmasse und Gehäuse vorgesehen. Dämpfungsmasse und Piezokeramik sind durch eine dünne, elektrisch leitende Klebung verbunden. Die Dicke der Klebstoffschicht kann bei der Herstellung gleichmäßig und reproduzierbar gestaltet werden. Entsprechend dem Angebot des VEB Keramische Werke Hermsdorf [3] wurde für den Konus die Piezokeramik PK 40 ausgewählt.

2. Übertragungsverhalten des Sensors

Bei der Kalibrierung von Schallemissionssensoren ist das Meßergebnis von der verwendeten Methode abhängig. Diese an sich unbefriedigende Tatsache erklärt sich aus dem Einfluß der verwendeten Testquelle bezüglich Bandbreite und angeregten Wellenmoden, dem u. U. nicht vernachlässigbaren Übertragungsverhalten des Probekörpers und den jeweiligen Ankoppelbedingungen. Es ist daher üblich und auch notwendig, das verwendete Verfahren bei gemessenen Frequenzgängen von Schallemissionssensoren anzugeben. Darüber hinaus ist die Kalibrierung noch Gegenstand der Forschung. Um geplanten eigenen Untersuchungen im ZfK Rossendorf nicht vorzugreifen, werden hier nur zwei vorläufige Messungen angeführt. Regt man einen als Sender wirkenden Sensor mittels eines Funktionsgenerators an und empfängt die so erzeugten Schallsignale mit einem gleichartigen Sensor, dessen Piezoelement das des Senders direkt kontaktiert, so erhält man einen Frequenzgang, der die zu untersuchenden Sensoren charakterisiert. Für die beschriebenen Breitbandsensoren sind auf diese Weise gemessene Frequenzgangkurven im Bild 3 wiedergegeben. Kopplungsbedingte Unterschiede äußern sich innerhalb von 5 dB, die Frequenzcharakteristiken erscheinen zwischen 200 kHz und 600 kHz als nahezu linear. Unterzieht man übliche Sensoren dieser Meßmethode, so zeigen sich im gleichen Frequenzbereich Empfindlichkeitsschwankungen von ±15 dB. Eine zweite Untersuchung ist im ZfK Rossendorf durchgeführt worden. Die verwendete Methode wurde in [4] näher beschrieben. Der zu kalibrierende Sensor war an eine Stahlplatte gekoppelt und wurde durch einen Schallimpuls angeregt. Als Schallquelle diente ein extrem kurzer Laserimpuls, der im Abstand von 85 Millimetern vom Sensor auf die gleiche Plattenseite gerichtet war. Die Impulsantwort wurde in ihrem zeitlichen Verlauf

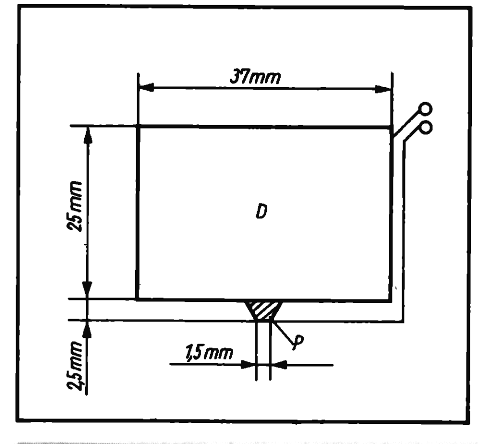


Bild 1.
Prinzipieller Aufbau des Breitbandsensors
D Messingdämpfungskörper; *P* Piezokeramik

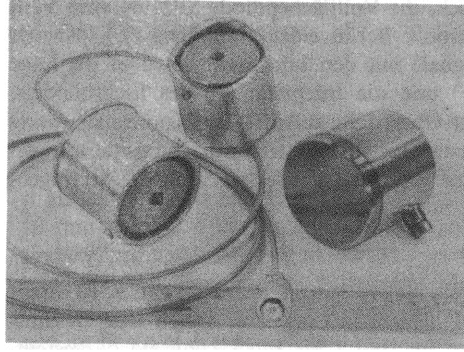


Bild 2.
Realisierte Breitbandsensoren

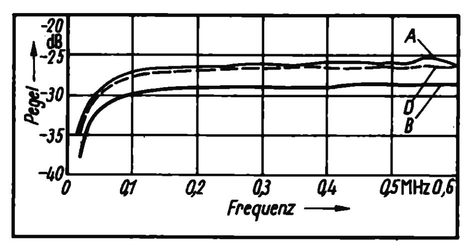


Bild 3.
Ergebnisse der „Kopf-an-Kopf"-Kalibrierung für die Sensorexemplare A, B, D

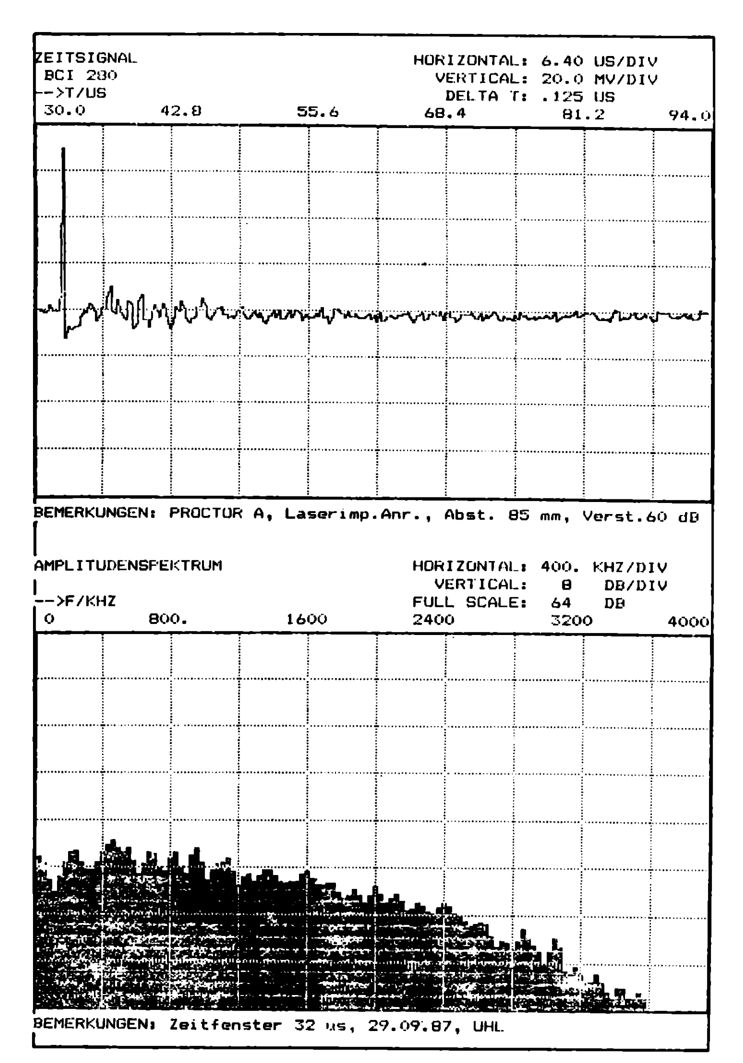


Bild 4. Impulsantwort und Amplitudenspektrum des Breitbandsensors

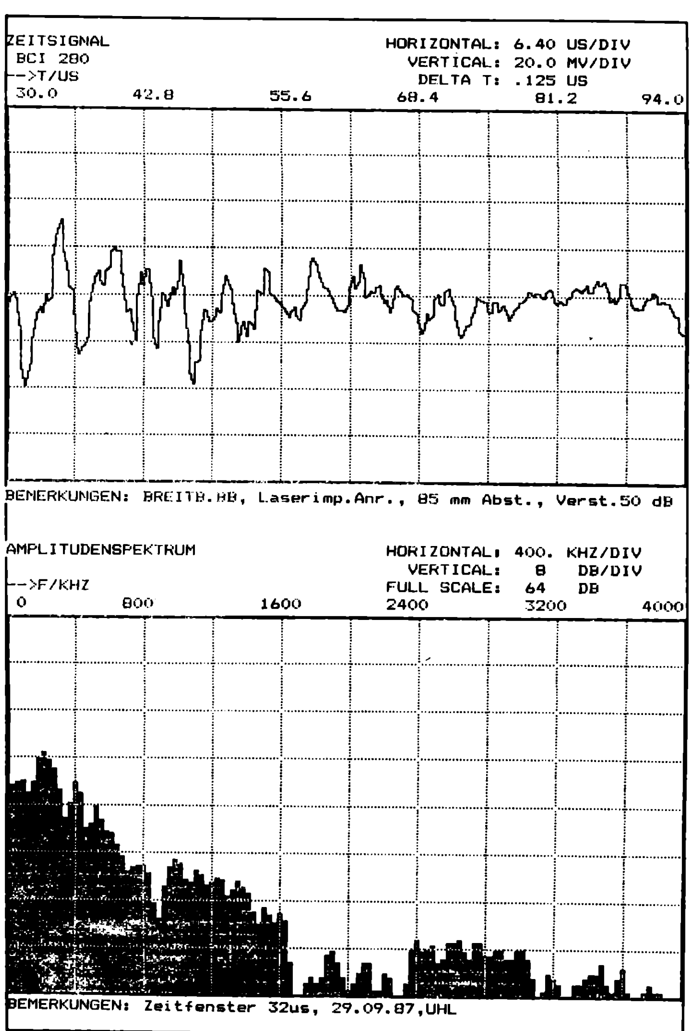


Bild 5. Impulsantwort und Amplitudenspektrum eines Vergleichssensors

mittels eines Samplingverfahrens gemessen und in einem Auswerterechner gespeichert. Durch Fourier-Transformation wurde der Amplitudengang der Übertragungskette berechnet. Ein typisches Ergebnis zeigt Bild 4. Dem Zeitsignal sind die wesentlichen Merkmale des Sensors bereits zu entnehmen. Der Anstieg des empfangenen Schallimpulses ist außerordentlich steil. Die Laufzeit zwischen Quelle und Sensor (etwa 32 µs) deutet auf eine reine Oberflächenwelle hin. Sie wurde im wesentlichen im angewendeten thermoelastischen Bereich der Laserquelle angeregt. Die dem Primärimpuls folgenden Schwankungen im Zeitsignal sind sehr stark gedämpft. Damit ist die Wirksamkeit der praktisch reflexionsfreien Rückseitenbedämpfung des Sensorelementes bestätigt. Im unteren Bildteil ist der berechnete Amplitudengang des Breitbandsensors dargestellt. Er zeigt das erwartete Verhalten. Die Amplitudenschwankungen betragen im Arbeitsbereich des Sensors maximal 8 dB, in weiten Bereichen sogar weniger als 4 dB. Der Abfall der Sensorempfindlichkeit oberhalb 2 MHz liegt im Tiefpaßverhalten der elektronischen Meßkette begründet. Zum Vergleich zeigt Bild 5 die unter identischen Bedingungen erhaltenen Ergebnisse für einen üblichen Sensor. Die Empfindlichkeitseinbrüche sind hier deutlich größer und zwischen 200 kHz und 1 MHz ist die Empfindlichkeit des Sensors bereits um etwa 20 dB gesunken. Beim Vergleich der Bilder 4 und 5 ist allerdings zu beachten, daß die Meßkette für den Breitbandsensor um 10 dB empfindlicher gewählt war. Die große Dämpfung dieses Sensors hat den zu erwartenden Empfindlichkeitsverlust zur Folge. Er beträgt nach der vorliegenden Messung auch noch im hochfrequenten Bereich (um 1 MHz) etwa 6 dB, während bei 400 kHz der Vergleichssensor wenigstens 16 dB empfindlicher ist.

Die vorläufigen Messungen scheinen die Charakterisierung des Breitbandsensors durch T. M. PROCTOR [2] zu bestätigen, der angibt, daß der Frequenzverlauf bei Anregung durch Oberflächenwellen innerhalb von ±3 dB linear sei. Das weitere Entwicklungsziel sollte nun sein, das offensichtlich erfolgreiche Grundkonzept für einen piezoelektrischen Breitbandsensor in eine noch praxisgerechtere Lösung umzusetzen.

Literatur

[1] NIEWISCH, J.: Offenlegungsschrift DE 3110280 A1, 30. 9. 1982. Ultraschallaufnehmer.

[2] PROCTOR, T. M.: An improved piezoelectric acoustic emission transducer. JASA 71 (1982) 5, S. 1163—1168.

[3] Firmenschrift „Piezokeramische Bauelemente“. Hermsdorf 1985, S. 9.

[4] UHLMANN, G.: Kalibrierung von Schallemissionssensoren. 6. Fischlandkolloquium. Wustrow 1987.

msr 8842

Dr. rer. nat. J. LEHMANN, Ingenieurhochschule für Seefahrt Warnemünde/Wustrow, Richard-Wagner-Str. 31, Warnemünde, 2530; Dr.-Ing. G. UHLMANN, Zentralinstitut für Kernforschung Rossendorf, PF 19, Dresden, 8051.

(Fortsetzung von S. 417)

Literatur

[1] SCHMIDT, B.; SCHOTT, H.: Anwendung der Hybridtechnik zur Integration von Sensoren mit Komponenten der Nachfolgeelektronik. Int. Hybridtagung, Gera 1984.

[2] SCHOTT, H.; HERBERG, H.: Microcomputer Controlled Position Sensitive Measurement System. 5th Int. IMEKO Symposium, Jena 1986.

[3] HERBERG, H.; SCHOTT, H. u. a.: Mikrorechnergesteuertes Positioniersystem. Tagung „INFERT 86“, TU Dresden 1986.

[4] HERBERG, H.; SCHOTT, H. u. a.: Mikrorechnergesteuertes Positioniersystem mit optoelektronischem Positioniersensor. Feingerätetechnik, Berlin 37 (1988) 9, S. 395ff.

[5] Applikationsschriften des VEB Halbleiterwerk Frankfurt/Oder. C500, C502, C504.

msr 9077

Dipl.-Ing. H. HERBERG; Ing. H. WEIGAND, Akademie der Wissenschaften, Zentralinstitut für Kernforschung Rossendorf, Bereich Wissenschaftlicher Gerätebau, Postfach 19, Dresden, 8051
Tel.: Dresden 5 91 20 89

Wirk- und Blindleistungsregelung im Elektroenergiesystem der DDR

Der Fachunterausschuß „Frequenz- und Spannungsregelung" in der Wissenschaftlich-Technischen Gesellschaft für Energiewirtschaft der KDT führte am 5. und 6. April 1989 in Gera unter der o. g. Thematik seine zweite öffentliche Fachtagung durch. Während sich die erste Tagung 1985 (vgl. Energietechnik, Heft 5/1986) ausschließlich der Verbesserung der Spannungshaltung und des Blindleistungshaushaltes widmete, bestimmten diesmal zusätzlich die Probleme der Frequenz- und Wirkleistungsregelung das Tagungsprogramm.

Der den Problemen der Wirkleistungsregelung gewidmete erste Tag wurde durch den Grundsatzvortrag des Leiters der Staatlichen Hauptlastverteilung (HLV) beim Ministerium für Kohle und Energie und Vorsitzenden der ZfS „Elektroenergiesysteme" B. Tillmann eingeleitet. Er ging dabei von der Zuständigkeit der HLV als zentrales operatives Steuerorgan und bilanzbeauftragtes Organ für Elektroenergie aus, der Einsatz und Fahrweise der die Betriebsführung wesentlich beeinflussenden Umwandlungs- und Fortleitungsanlagen des Landes sowie für den Verbundbetrieb mit Elektroenergiesystemen anderer Länder obliegen.

Die künftige Entwicklung des Elektroenergieverbundsystems (EEVS) der DDR wird charakterisiert durch:

- ein weiteres Ansteigen des Elektroenergiebedarfs bei gleichzeitiger Durchsetzung von Maßnahmen der rationellen Energieanwendung
- die Inbetriebnahme neuer 440- und 1000-MW-Blöcke in Kernkraftwerken
- die Rekonstruktion und Modernisierung der 100- und 210-MW-Blöcke
- die Erweiterung und weitere Vermaschung des Verbundnetzes.

Die Anforderungen an die Wirkleistungsregelung der Erzeugeranlagen leiten sich aus der Entwicklung des EEVS der DDR und des internationalen Verbundsystems ab. Im internationalen Verbundsystem obliegt dem leistungsstarken Elektroenergiesystem der UdSSR die Regelung der Frequenz für den Gesamtverbund, während für die Elektroenergiesysteme der einzelnen Länder die Aufgabe besteht, ihre Übergabesalden zu regeln. Damit ist im Normalbetrieb die Einhaltung des Übergabesaldos zu einer wichtigen Regelungsaufgabe geworden, die insbesondere eine funktionsfähige Wirkleistungsregelung zur Beherrschung von sprunghaften Laständerungen, die das Übergabesaldo gefährden, erfordert.

Aber auch für Systemstörungen und größere Havarien, die zu Teilverbundsystem- oder gar zum Inselbetrieb des EEVS der DDR führen können, wird eine stabile und betriebsfähige Frequenz- und Leistungsregelung benötigt, um nachteilige Auswirkungen auf das EEVS der DDR weitestgehend zu vermeiden. In seinem anschließenden Hauptvortrag erinnerte der FUA-Vorsitzende U. Hertel zunächst an die Entwicklung der Wirkleistungsregelung in der DDR im Rahmen des entstehenden Verbundbetriebes der RGW-Länder in den sechziger Jahren und an die Funktionsweise des dreistufigen Systems der Wirkleistungsregelung. An diesem bewährten Prinzip der drei aufeinander abgestimmt arbeitenden Regelkreise, bestehend aus Primär(Statik-), Sekundär- und Tertiärregelung wird auch zukünftig festgehalten. Ausgehend von einer realen Einschätzung der praktizierten Wirkleistungsregelung im EEVS der DDR wurden Maßnahmen zur notwendigen Verbesserung aufgezeigt. Im Vordergrund stehen dabei Schritte zur Statikmobilisierung, wofür das in der HLV entwickelte und von W. Kühnel vorgestellte digitale Frequenzsignalgerät in den Kraftwerken zum Einsatz kommen wird. Aus der Sicht der Kraftwerksbetreiber wurden die technisch-ökonomischen Probleme und Grenzen für eine verstärkte Regelungsfahrweise der Kraftwerke deutlich gemacht. C. Löffler leitete aus einer anlagen- und automatisierungstechnischen Bewertung der Voraussetzungen an den Kraftwerksblöcken des Kombinates Braunkohlenkraftwerke Maßnahmen zur Verbesserung der Regelfähigkeit ab und unterstrich die Notwendigkeit für die Einführung einer die systemgerechte Leistungsfahrweise stimulierenden Tarifgestaltung. Die speziell an den 500-MW-Blöcken bestehenden Möglichkeiten einer Beteiligung an der Wirkleistungsregelung wurden von D. Münzberg vorgetragen.

H.-C. Funke stellte in seiner sehr detaillierten Verschleißanalyse der Aggregate in den Pumpspeicherwerken eine überzeugende Methodik vor, mit der es möglich ist, einen quantitativen Zusammenhang zwischen Materialverschleiß und Zahl der Betriebsartenwechsel bzw. der Betriebsartenfolge abzuleiten.

Im Beitrag von G. Bretthauer, T. Gamaleja und H.-H. Wilfert wurde die rechnergestützte Methodik zur Änderung von Instandhaltungsplänen von Kraftwerkssystemen zur Einhaltung einer vorgegebenen Versorgungssicherheit als komplexes Optimierungsproblem behandelt.

D. Graf stellte die sog. Bilanzierungsautomatik vor, die zur vorbeugenden Wiederherstellung der Wirkleistungsbilanz des Energiesystems der DDR zur Vermeidung unzulässiger Saldowerte dient. Das wird dadurch erreicht, daß ein Ratgeber-Steuerrechner-Komplex über Fernwirkeinrichtungen angeschlossene Pumpspeicherwerks-Aggregate geeignet ansteuert. Möglichkeiten zur Effektivierung des bestehenden dezentral orientierten Systems der automatischen frequenzabhängigen Entlastung (AFE) als wirkleistungsbilanzierende Antihavariesteuerung wurden von U. Tornus aufgezeigt.

Der im Zeichen der Blindleistungsregelung stehende 2. Tag wurde durch K. Naumann eröffnet. Er kennzeichnete die Situation zum Blindleistungshaushalt im DDR-Energiesystem wie folgt: In Zeiten der Hochbelastung muß ein erheblicher Teil des Blindleistungsbedarfs durch die Großkraftwerke erzeugt werden, und ihr Transport führt zu zusätzlichen Übertragungsverlusten. In Schwachlastzeiten besteht ein Blindleistungsüberschuß im Übertragungsnetz, der durch die untererregt betriebenen Generatoren in den Kraftwerken abgebaut werden muß. Bei extremen Schwachlasten werden dabei in bezug auf Spannung und Stabilität die Systemgrenzwerte erreicht. In der Systemausbauplanung ist langfristig der Blindleistungshaushalt so zu beeinflussen, daß dieser Situation entgegengewirkt wird. In seinem Grundsatzvortrag leitete K. Lüttig die zur Verbesserung der Steuerung des Elektroenergiesystems bezüglich Spannungshaltung und Blindleistungshaushalt mit dem Ziel einer verbrauchernahen Blindleistungserzeugung vorgesehenen Maßnahmen ab. Neben den bereits weitgehend realisierten On-line-Ratgebersystemen in den Großkraftwerken für deren systemoptimale Blindleistungserzeugung sind das insbesondere die schrittweise Einführung der verfahrens- und gerätetechnischen Lösung für die Bereichslastverteilungen zur gezielten Beeinflussung der Fahrweise der Verteilungsnetze und der dort einspeisenden Kraftwerke sowie die Erprobung der Blindleistungsstimulierung für die Großkraftwerke. Die Ermittlung der aus Gesamtsystemsicht optimalen Vorgabewerte für die nach dezentral orientierten Kriterien in den Bereichslastverteilungen einzuhaltenden Blindleistungen bzw. Spannungen war Gegenstand des Vortrages von J. May.

Der Problematik der Blindleistungsstimulierung waren mehrere Beiträge (I. Kratzke, R. Weppernig, L. Wagner, U. Adermann) gewidmet, die neben anderen dieser Tagung in der Zeitschrift Energietechnik, Heft 8/1989, veröffentlicht sind. Dieses Heft ist beim Deutschen Verlag für Grundstoffindustrie in Leipzig zu beziehen.

msr 9122 U. Hertel

Regelung von Heizungs- und Lüftungsanlagen

Der Arbeitsausschuß „Steuerungs- und Regelungstechnik" der BFS Elektrotechnik/Elektronik in der KDT des BV Dresden führte vom 23. bis 27. Januar 1989 o. g. Intensivlehrgang in einem Schulungsheim in Radeberg durch. Es war der fünfte Lehrgang, in dem spezielles Wissen zur Regelung von Heizungs- und Lüftungsanlagen weitervermittelt wurde. Teilnehmer dieser Lehrgänge sind Projektanten, Praktiker und Mitarbeiter technischer Bereiche.

Dieser jährlich durchgeführte Lehrgang ist ein Beitrag zur Energieeinsparung bei der Beheizung von Industriebauten. Immer wieder zeigt die Praxis, daß im Prozeß der industriellen Raumheizung noch erhebliche energiewirtschaftliche Reserven vorhanden sind. Bedenkt man, daß 1 K Überheizung einen Energiemehrverbrauch von 6 bis 7% ausmacht, und zieht die Vorteile der noch nicht überall angewendeten geregelten Heizung in Betracht, so werden diese Reserven deutlich. Konkrete Ergebnisse zeigen, daß allein geeignete Regelungseinrichtungen in bestehenden Heizungsanlagen — zuzüglich zu den Verbesserungen der Arbeits- und Lebensbedingungen für die Werktätigen — Energieeinsparungen bis zu 20% bringen.

Der Lehrgang steht unter der wissenschaftlichen Leitung von Dr.-Ing. W. Schulze. Insgesamt gliedert sich diese Weiterbildungsveranstaltung in sechs Komplexe.

Im ersten Komplex vermittelte W. Schulze in einer Kurzfassung das Grundlagenwissen der Regelungstechnik. Es wurden die Beschreibungsmethoden der linearen Übertragungsglieder, eine Einführung in die Berechnungsverfahren und die Stabilität der Regelung behandelt.

Im Rahmen der theoretischen Grundlagen wurden wesentliche Fachbegriffe erläutert. Durch diesen Einführungskurs erhalten alle Teilnehmer ein Grundlagenwissen, so daß die nachfolgenden Stoffkomplexe erfaßbar und verständlich werden.

Der zweite Komplex ist praxisorientiert. Schür ist Projektant von mehreren Anlagen und besitzt einen umfangreichen Erfahrungsschatz beim Betreiben von diesen Anlagen im VEB Edelstahlwerk Freital. Ausgangspunkt bilden die gesetzlichen Grundlagen

- Energieverordnung GBL Teil 1, Nr. 10 vom 15. Juni 1988
- TGL 32 603 — Anforderungen des Menschen an das Raumklima
- TGL 38 265 — Energiewirtschaftliche Mindestausstattung mit MSR-Technik
- TGL 23 043 — Sicherheitstechnische Ausrüstungen.

Darauf aufbauend wird das gesamte Gerätesortiment einschließlich spezieller Hinweise über Einsatzbesonderheiten und der Verfügbarkeit behandelt. Das Gerätesortiment umfaßt: Thermometer, Meßumformer, Regler, Stellventile, Ventile für Sicherheitseinrichtungen, Wärmemengenrechner und Registriergeräte. Anschließend gab es einen Überblick über praktische Erfahrungen beim Projektieren, beim Bau und bei der Inbetriebnahme von Heizungsregelungen. Schwerpunkte bilden hierbei der Regelkreis mit seinen unterschiedlichen Strukturen, die Probleme der Toleranzen und der Übergangsfunktionen sowie die Versorgungsnetzsituation. Gleichfalls wurden die Inbetriebnahme, die Wartung und die Instandhaltung behandelt. Anhand von vier ausgeführten Projekten

- HW/WW-Wärmeübertrager mit R 303
- Anlage mit Rücklaufbeimischung
- Anlage Luftwärmeübertrager für eine Großküche
- Beheizung großer Hallen

wurde ein konkretes und stark praxisorientiertes Wissen vermittelt.

Der dritte Komplex des Lehrganges beinhaltet „Bemessungsalgorithmus zur Auslegung von Stellventilen in der Heizungstechnik". Schlott, der Verfasser von „Temperaturregelung von Warmwasserheizungsanlagen" (VEB Verlag für Bauwesen) ist, führte den Lehrgangsunterricht anhand der in diesem Buch enthaltenen Abschnitte durch. Dabei wird stets der Zusammenhang, der zwischen der Heizungsanlage, dem Ventil und der Regelung besteht, berücksichtigt. Im ersten Abschnitt stehen allgemeine regelungstechnische Probleme der Einordnung von Stellgliedern in Wärmeversorgungsanlagen im Mittelpunkt. Nachfolgend werden die Einweg- und Zweiwegventile behandelt. Dazu gehören: Aktuelles Angebot, Öffnungs-, Durchfluß- und Betriebskennlinien von Stellventilen und Abnehmeranlagen, Bemessung und Auswahl von Stellventilen und praktische Hinweise zur Verbesserung des Regelverhaltens im Schwachlastbereich. Das Ende dieses dritten Lehrgangskomplexes betrifft die Themen: Auslegung elektrischer Schubantriebe, Rechenprogramme für die Auslegung von Ventilen und Anwendung der Heizkörper-Thermostatventile für Zwei- und Einrohranlagen.

Im vierten Lehrgangsteil wird der Regelung von Deckenstrahlplattenheizungen Aufmerksamkeit geschenkt. Dabei kommen solche Fakten, wie die Anordnung der Platten an der Decke und an den Außenwänden, Probleme bei thermisch leichten Bauten, bauphysikalische Besonderheiten und Kaltlufteinbrüche, zur Sprache. John wertete realisierte Anlagen von Deckenstrahlplattenheizungen aus. Grundsätzliches, wie bautechnische Mängel, fehlerhafte Schaltung der Rohrleitungen, ungünstiger Einbau von Meß- und Regelorganen und daraus folgende Auswirkungen auf die Einhaltung der Empfindungstemperatur, wird diskutiert. Es werden Aussagen zur Programmierung der Regler R 303 und 304 sowie zur Schwingungsneigung der Vorlauftemperatur getroffen. Anhand eines ausgewerteten Beispiels können folgende Zusammenhänge grafisch bewertet werden:

- Reglerprogramm R 303
- abgegebene Wärmeleistung der Deckenstrahlplattenheizung
- Auslastung der installierten Heizfläche
- Auswirkungen auf die Empfindungstemperatur im Gebäude.

Der fünfte Komplex steht unter dem Thema: Regelung von Heizungs- und Lüftungsanlagen mit Hilfe der Projektierungs- und Realisierungskapazität des VEB Geräte- und Reglerwerkes Leipzig. Schlag informierte über die vom GRW Leipzig projektierten HLK-Anlagensysteme. Dabei werden Lösungen, sowohl der konventionellen Gerätetechnik als auch des mikrorechnergesteuerten Systems MSA 5000, vorgestellt. In diesem Zusammenhang werden die Lehrgangsteilnehmer in die Methodik der Erarbeitung der Aufgabenstellung für GRW-Projekte (KAPV) eingewiesen.

Im letzten Komplex des Lehrgangs wurde auf den Einsatz von Wärmepumpen eingegangen. Koschade versuchte, wesentliches Wissen anhand von zwei ausgeführten Anlagen zu vermitteln. Es ist verständlich, daß dieser Komplex im Rahmen des Lehrgangs nur als Bruchstück dargestellt werden kann. Trotzdem wurde das Ziel erreicht, den Lehrgangsteilnehmern eine Ausgangsbasis zu vermitteln, wenn es gilt, bei der Regelung einer Heizungsanlage gleichzeitig eine Wärmepumpe zur Anwendung zu bringen.

Im Rückblick kann folgendes eingeschätzt werden: Die etwa 30 Teilnehmer eines Lehrgangs reisen mit einem sehr differenzierten Grundwissen an. Sie haben aber alle das gemeinsame Ziel, durch regelungstechnische Mittel Heizungsanlagen günstiger zu gestalten. Im Ergebnis sollen Energie eingespart und die Arbeitsbedingungen verbessert werden. Dementsprechend wurde von den sechs Referenten ein gut abgewogenes Stoffgebiet mit Theorie, Projektierungs- und Realisierungsgrundlagen und einer Vielzahl von Praxiserfahrungen dargeboten. Zur Erhöhung des Effektes der Wissensvermittlung war es möglich, den Lehrgangsteilnehmern ein umfangreiches Literaturmaterial für ihre betriebliche Nutzung zu übergeben. Das waren u. a.: Schlott: „Temperaturregelungen von Warmwasserheizungen" (VEB Verlag für Bauwesen) und zwei Informationshefte „MSR-Technik für Raumheizungsanlagen" des Instituts für Energetik Leipzig. Aufgrund des hohen Stellenwertes der rationellen Energieanwendung liegt ein großer Bedarf zur Weiterbildung auf dem oben genannten Fachgebiet vor, so daß gegenwärtig für 1990 der sechste Lehrgang vorbereitet wird.

msr 9106 W. Schulze

Quality Management

Am 16. und 17. März 1989 fand im ICC in Berlin (West) das 7. Qualitätsleiterforum der gfmt (Gesellschaft für Management und Technologie) München statt. Die von etwa 350 Teilnehmern besuchte Fachveranstaltung mit Ausstellung stand unter dem Motto „Quality Management — Produktion auf Weltniveau durch Kundenorientierung, Mitarbeiterorientierung, Kostenorientierung, Prozeßorientierung, Risikoorientierung".
Die fachliche Leitung hatte Prof. Dr. J. P. Bläsing, Leiter des Transferzentrums Qualitätssicherung Ulm/BRD.
Das mehrtägige Vortragsprogramm und die parallel dazu durchgeführte Sonderausstellung über Geräte- und Programmtechnik zur industriellen Qualitätssicherung mit Exponaten und ihren Demonstrationen aus der BRD, den USA, Japan und GB brachte zahlreiche neue Einsichten in gerätetechnische und programmtechnische sowie organisationstechnische Problemlösungen.
M. Höhl, Direktor der gfmt, wies in seinem Eröffnungsvortrag darauf hin, daß die rasche Entwicklung und die Dynamik der Märkte von den Unternehmen fordern, flexibel auf Veränderungen zu reagieren. Der Wissensstand und die permanente intensive Weiterbildung der Arbeitskräfte haben dabei zentrale Bedeutung.
Neue Technologien und gestiegene Anforderungen in der flexibel automatisierten Produktion zwingen die Arbeitskräfte zur Übernahme höherer Verantwortung. Eine zentrale Stellung erlangt das Qualitätsbewußtsein. Praxisorientierte Wissenschaftler und erfahrene Praktiker können Hilfestellungen geben, um das Qualitätsbewußtsein zu fördern.
Qualitätssicherungskonzepte müssen in ihrer Gesamtheit verstanden und schrittweise ausgebaut werden. Gegenwärtig dominiert die Phase der schrittweisen Erarbeitung und Verknüpfung von sogenannten Insellösungen. Sie umfassen:
Produktionslogistik mit dem Ziel, durch JIT (just-in-time) eine neue Produktions- und Zulieferungsform zu finden, die auf Bestandssenkungen, Fertigwarenreduzierungen, Flächenreduzierungen, Qualitätsverbesserungen, Durchlaufverkürzungen und Produktivitätssteigerungen hinausläuft.
Im Zusammenhang mit der praktischen Realisierung von modernen CIM-Konzepten erhalten Modellierung und Simulation einen wachsenden Stellenwert. Simulationsmodelle dienen der kostenarmen Analyse bestehender Anlagen, ermöglichen die Testung und Optimierung neuer Anlagen vor ihrer technischen Realisierung und übernehmen wichtige Funktionen für die Weiterbildung und beim Training von Bedienpersonal.
Expertensysteme hoher Flexibilität und mit der Fähigkeit, sich selbst zu erläutern, werden schrittweise in die Produktion überführt und machen nicht nur technische Prozesse transparenter, sondern fordern zur kreativen Weiterentwicklung technischer und organisatorischer Prozesse in Forschung und Industrie heraus.
Die Qualitätssicherung erhält immer mehr aktiven, vorbeugenden, steuernden Charakter in allen Ebenen der gesellschaftlichen industriellen Reproduktionsprozesse. Insbesondere im Bereich der materiellen Produktion hat das methodische Rüstzeug der komplexen Fehleranalyse FMEA (failure mode and effects analysis) eine starke rechnergestützte Verbreitung gefunden.
Die Statistische Prozeßsteuerung SPC (statistical process control) basiert in zunehmendem Maße auf rechergestützten Maschinenfähigkeits- und Prozeßfähigkeitsanalysen im Sinne des Ford-Leitfadens Q 101 und gewinnt damit sehr an Objektivität und Berechenbarkeit. Da heute die Gesamtbelastung aus Qualitätsfehlern bis zu 30% der Fertigungskosten und noch mehr betragen kann, ist die Richtigstellung des Fertigungssystems und nicht mehr der Erzeugnisse die wichtigste Quelle für den Erfolg. Zur Unterstützung dieser Strategie hat *Ford* gemeinsam mit *LaserMedia UK Ltd.* einen interaktiven Trainingskurs zur statistischen Prozeßsteuerung auf optischen Videodisketten herausgebracht. Sowohl die methodische, als auch die technische Lösung dieser Aufgabe setzt international neue Maßstäbe.
H. Behr (*Klöckner-Moeller*) hob hervor, daß die Korrektur eines Irrtums im Marktpflichtenheft viel weniger Kosten verursacht, als die Behebung eines Produktmangels beim Kunden. Konstruktionstechnologen erleichtern die Überführung der Entwicklungen in die Produktion. Für jedes herzustellende Teil steht eine Meßvorrichtung mit Qualitätskarte bereit. Auf der Qualitätskarte findet der Werktätige, was wann, wie und wie oft zu überwachen ist. Grafische Elemente unterstützen die Akzeptanz.
J. P. Bläsing kommentierte, untersetzt mit eigenen Erfahrungen, die Qualitätssicherungskonzeptionen von Deming, Crosby sowie Peters und Watermanns und erarbeitete eine Testmatrix für die anwesenden Qualitätsleiter. Wichtigste Gesichtspunkte für die Beurteilung waren der eigene Standpunkt zu folgenden Ratschlägen: Wille zur Verbesserung, zeitgemäße Einstellung zur Qualität, Verzicht auf nachträgliches Prüfen, Verzicht auf Primat des Preises, unablässige Verbesserung, Abbau von Angst, Abriß von Barrieren zwischen den Abteilungen, Veränderung der Prozesse und Vermeidung von Sprüchen, Beseitigung von Leistungsquoten, Beteiligung anderer am Erfolg, Förderung der eigenen Mitarbeiter, unternehmensweite Verbesserungen. Dabei wurde nicht im Unklaren gelassen, daß noch so schöne allgemeine Regeln nicht davon befreien, im eigenen Betrieb die tatsächliche Situation kritisch zu analysieren und betriebsspezifische Maßnahmen zur Verbesserung der Qualität zu ergreifen.
Das 7. Qualitätsleiterforum zeichnete sich auch dadurch aus, daß mehrere Referenten das Verhältnis von Qualität und Recht ausführlich behandelten. Ursachen sind in der rapiden Zunahme der Klagefreudigkeit in den USA (17% je Jahr), im (west)europäischen Binnenmarkt 1992 und in der strengen Gesetzgebung zur Produkthaftung zu sehen.
Nach Auskunft von H. Hollmann (*Ford*) hätten viele Schadensfälle vermieden werden können, weil

- 70% der Produkte zum Zeitpunkt der Herstellung nicht dem Stand der Technik entsprachen
- 20% auf den Markt gebracht wurden, ohne zuvor dem neueren Stand von Wissenschaft und Technik angepaßt worden zu sein
- nur 13% mit den erforderlichen und ausreichenden Warnhinweisen versehen waren.

Wegen der unterschiedlichen Umsetzung der EG-Richtlinien in den einzelnen EG-Ländern ist zu erwarten, daß für Schadensersatzklagen die Länder aufgesucht werden, in denen der größte Effekt erwartet werden kann (forum shopping).
Weiterhin wurden im Plenum behandelt:

- Just-in-time — Erfolgsfaktor Mitarbeiter (H. Adelhofer, *IBM*)
- Qualitätsmanagement im internationalen Wettbewerb (H. Danzer, *Steyr-Daimler-Puch*)
- Qualitätswissenschaft am Produktionstechnischen Zentrum der Technischen Universität Berlin (West) (G. F. Kamiske)
- Studiengang: Produktion, Meßtechnik, und Qualitätssicherung an der Technischen Universität Braunschweig (E. Westkämper)
- Qualitätssicherung in der Fachhochschule Ulm (J. P. Bläsing).

Pionieranwender beschäftigten sich auf dem 7. Qualitätsleiterforum mit Taguchi-Methoden (H. W. Müller, *Ford*), Quality Function Deployment (M. J. Dierkes, *Ford*), Wertanalyse (H. Joksch, *TQM*), Qualitätsplanung (U. Wilhelm, *BMW*), Qualitätssicherungsvereinbarungen (H. J. Lipp, *AEG*), Integrierter Qualitätscode (IQC) — einheitliche und systemübergreifende Qualitätsmerkmal- und Fehlerbeschreibung (D. Siech, *Daimler-Benz*), FMEA und Poka-Yoke (J. Sondermann, *VW*), Expertensysteme (G. Ernst, *Daimler-Benz*), Verbraucherschutz (E. Hollinger-Hagmann).
Neuerdings gilt ein Produkt als fehlerhaft und es tritt Haftpflicht ein, wenn es nicht die Sicherheit bietet, die „man" unter Berücksichtigung aller Umstände zu erwarten berechtigt ist. Damit kommt es also auf abstrakte Verbrauchererwartungen an. Werden diese Erwartungen nicht erfüllt, muß der Hersteller unbegründete Vermutungen widerlegen. Wichtig ist, daß Kooperationspartner in zunehmendem Maße die Qualitätsfähigkeit der Kooperationspartner vor Ort überprüfen und in Dokumenten festhalten. Dadurch erhöhen sich Berechenbarkeit und Fertigung ohne große Zwischenlager für Montage und Reparatur. Weiterhin erhöht sich die Zuverlässigkeit der Erzeug-

nisse, die eine Eingangsprüfung für Halbzeuge und Zwischenprodukte hinfällig werden läßt.
Auf dem 7. QLF wurden Einführungen gegeben in QS-Systeme und QS-Elemente (W. Geiger, *Isernhagen*), Qualitätssicherungshandbuch (J. Walek, *PROMIS*), DV-System zur Produktbeobachtung (G. Bader, *AEG*), Konstruktions-FMEA (G. Kersten, *Bosch*), statistische Versuchsplanung nach Taguchi (B. Lau, *FHS Ulm*), technische Statistik in Produktionsprozessen (B. Deck, *IBM*), rechnergestützte Meßmittelauswahl und intelligente Qualitätsmeßtechnik INQUAMESS (D. Hofmann, *FSU Jena*), QUEX-Expertensystem (A. Hirsch, *Triumph-Adler*).
Ein weiterer Schwerpunkt der Veranstaltung war der organisierte Erfahrungsaustausch (mit knapp 20 Beiträgen) beispielsweise zu Qualitätshandbüchern, Statistischer Prozeßsteuerung SPC, Konstruktions- und Prozeß-FMEAs, CIM-Anforderungen an PC-Software, Software-Qualitätssicherung und insbesondere zu Konsequenzen aus DIN ISO 9000—9004. *SCS* (*Scientific Control Systems GmbH*), Hamburg stellte erstmalig mit ihrem modularen Qualitätsinformations- und -steuerungssystem moQuiss ein Qualitätshandbuch vor, das auf ISO 9000—9004 basiert und voll rechnergestützt über Bildschirm editiert werden kann. Es ist zu erwarten, daß solche Handbücher zur Regel werden.

PROMIS (*Informationssysteme für das Produktionsmanagement GmbH*) München (J. Ritzkat) demonstrierte PROMIS-Software zur Analyse potentieller Fehler und Folgen für Konstruktion, Fertigung und Montage FMEA. Die *gfmt* (*Gesellschaft für Management und Technologie*), München (M. Höhl) stellte gemeinsam mit dem *Transferzentrum Qualitätssicherung Ulm* (J. P. Bläsing) ein komplexes Programmpaket Universelle Software für die Qualitäts-Sicherung USQS mit den Modulen Dateipflege, Meßdatenauswertung, Pareto-Analyse, Qualitätskostenerfassung, Prüfmittelüberwachung, statistische Toleranzrechnung, Produktaudit, Ishikawa-Diagramm, FMEA und Reklamationsbearbeitung vor.

Die breite Anwendung der dezentralisierten arbeitsplatzbezogenen Rechentechnik für die Qualitätssicherung und der neue Umgang mit Information führt zu Arbeitsergebnissen, die mit konventioneller Technik und konventionellen Einstellungen nicht erzielt werden können.
Zusammenfassend lassen sich folgende Schlußfolgerungen ableiten:

1. Qualität muß exakt definiert und überprüft werden.
2. Qualität muß erarbeitet und kann nicht aussortiert werden.
3. Qualitätssicherung betrifft den gesamten Qualitätszyklus.
4. Qualitätssicherung gehört verstärkt in die Vorbereitung.
5. Qualitätssicherung verlangt Qualitätshandbücher.
6. Qualitätssicherung wird gestützt durch PCs.
7. Qualitätssicherung führt zu TQC und CIM-Software.
8. Qualitätssicherung gewinnt durch Mitarbeiterorientierung.
9. Qualität und Recht verlangen neue Denkansätze.
10. Qualität und Weiterbildung werden rechnergestützt.

Die Volltexte der Vorträge zum 7. Qualitätsleiterforum, Bände 1 und 2 mit insgesamt 1131 Seiten, enthalten aktuelles Material von vielen namhaften Firmen der BRD zu Erfahrungen und Problemen der industriellen Qualitätssicherung unter Einbeziehung aller Segmente des Qualitätszyklus. Das Material kann beim Berichterstatter eingesehen werden.

msr 9082 D. Hofmann

Moderne Qualitätssicherung und Instandhaltung

Vom 6. bis 11. März 1989 veranstaltete das Institut für Industrielle Systeme der Fakultät für Technische Wissenschaften der Universität von Novi Sad in Dubrovnik/Jugoslawien zwei Seminare über moderne Konzeptionen der Qualitätssicherung und Instandhaltung. Die Veranstaltung stand unter Leitung von Magnifizenz Prof. Dr. D. Zelenovic. Mehr als 300 Teilnehmer, insbesondere aus der jugoslawischen Industrie, wurden mit modernen Verfahren und neuen rechnergestützten Lösungen für die Steuerung der Qualität und Effektivitätssteigerung der Instandhaltung vertraut gemacht.
Eine bemerkenswerte Leistung des Veranstalters liegt in der Konzeption der Veranstaltung. Es war ein glücklicher Griff, die sonst auf unterschiedlichen Veranstaltungen vertretenen Fachgebiete integrativ zusammenzuführen und bewußt zu machen, daß es sehr viele Gemeinsamkeiten und gegenseitige Abhängigkeiten gibt. Noch erschweren unterschiedliche Terminologien, unterschiedlicher Kontext und scheinbar unterschiedliche Zielstellungen die Verständigung. Auch unterschiedliche Vorbildung erschwert Verständnis und Akzeptanz. Während die Qualitätssicherung, insbesondere über moderne CIM-Konzeptionen, immer mehr Gesellschaftswissenschaftler anzieht, wird die Instandhaltung vor allem im Zusammenhang mit der zustandsabhängigen Instandhaltung theoretisch, praktisch und meßtechnisch anspruchsvoller.
D. Zelenovic äußerte sich einleitend über verschiedene Möglichkeiten zur Wiederbelebung (revitalization) des Arbeitsprozesses in industriellen Systemen. Er hob hervor, daß allein technische Maßnahmen wenig erfolgversprechend seien. Nichtmaterielle Maßnahmen hätten jetzt den Vorrang. Genannt wurden nüchterne Analysen der Produktionsprozesse, Vereinfachung der Produktionsflüsse, Anpassung der organisatorischen Strukturen an die objektiven Bedürfnisse, produktorientierte Projektierung des Produktionsprozesses (anstelle der prozeßorientierten Projektierung), Erhöhung der Flexibilität, Beurteilung der Qualität nach dem Endprodukt und nach der Durchlaufzeit, Einführung von Kriterien zur Bewertung der ökonomischen Qualität von Arbeitsprozessen, Humanisierung der Arbeit und wesentliche Steigerung der Qualität der lebendigen Arbeit.
I. Bakija/Jugoslawien beschrieb ausführlich den geschlossenen Qualitätszyklus anhand der globalen Standards ISO 9000 bis 9004. Dieses neue Regelwerk soll zugrunde gelegt werden, um die Qualitätsfähigkeit von Betrieben durch Zertifikation ihres Qualitätssicherungssystems zu erreichen. Das Gesamtsystem ist in einzelne Stufen untergliedert, die einzeln nach Checklisten mit definierten Fragestellungen bis zum Arbeitsplatz untersetzt sind. Die Qualitäts-Audits werden für alle Bereiche der Volkswirtschaft notwendig, um bei Einführung der neuen Produkthaftungsgesetze berechenbaren Schutz zu erwirken. Bemerkenswert ist die Vertragsprüfung, mit der der Hersteller sichert, daß die Forderungen des Auftraggebers vollständig festgelegt werden, und der Hersteller auch in der Lage ist, sie zeitlich, materiell und ökonomisch zu erfüllen. Wenngleich eingeschätzt werden mußte, daß diese globalen Standards noch sehr verbesserungsbedürftig sind, so haben sie andererseits nicht zu überschätzende Signalwirkung, der sich kein modernes Industrieland entziehen sollte.
B. Kamberović, N. Radakovic, V. Vulanovic und I. Beker/Jugoslawien behandelten mit vielen einleuchtenden praktischen Beispielen, wie schwer es ist, die Qualität im industriellen Reproduktionsprozeß adäquat zu beschreiben und zu prüfen, daß moderne Programmpakete, wie STATGRAPHICS, die statistische Auswertung von Fertigungsprüfungen sehr erleichtern und anschaulicher machen, und daß rechnergestützte Meßmittel erheblich zur Objektivierung und Kostensenkung beitragen.
Darüber hinaus gestatten rechnergestützte Arbeitsweisen eine wesentlich sicherere Analyse von Fehlerursachen, ihre Klassifizierung und die Erkennung sowie Beseitigung, kri-

tischer Störeffekte. Es ist interessant, daß häufig nicht die einzelnen Effekte ausschlaggebend sind, sondern daß spezielle Konstellationen mehrerer, an sich unkritischer Störgrößen in ihrem Zusammenwirken erst den schädlichen Effekt ergeben. Hier hat die Rechneranalyse gegenüber dem Urteil von Arbeitskräften nachweisbare unbestreitbare Vorzüge.

V. MAJSTOROVIC/Jugoslawien wies anhand eines ausführlichen Literaturstudiums nach, daß gegenwärtig über 100 namentlich bekannte unterschiedliche rechnergestützte Qualitätssicherungssysteme auf dem englischsprachigen Markt sind. Dominant wird mit IBM-, HP- und DEC-Rechnern gearbeitet. Die erforderliche Speicherkapazität reicht von 1 bis 40 Mbyte mit Schwerpunkt bei 20 Mbyte. Es ist bekannt, daß die Programmentwicklungen vielfach bis zu 10 Jahren und teilweise bis zu 20 Jahren über Mainframes gelaufen sind und nunmehr auf Personalcomputer implementiert werden. Einzelheiten sind den ausgedruckten Volltexten der Seminarvorträge zu entnehmen.

D. HOFMANN/DDR und K. KARIYA sowie S. TAKAYAMA/beide Japan sprachen über die sozialen Aspekte der intelligenten Qualitätssicherung mit Personalcomputern und konnten nachweisen, daß aufgrund ökonomischer Zwänge eine schnelle Entwicklung zur rechnergestützten intelligenten Qualitätsmeßtechnik INQUAMESS führt. Sensoren mit elektrischen Signalausgängen und standardisierten stofflichen, energetischen und informatischen Schnittstellen werden über universelle Personalcomputer-Instrumente UPCI an Personalcomputer angeschlossen. Die PCs werden zur vereinheitlichten Bedien- und Kommunikationsebene. Die universellen PC-Instrumente lassen sich als Karten für freie PC-Busplätze (slots) in sogenannter Add-in-Technologie oder als eigenständige Geräte mit beliebiger Erweiterung und separater Stromversorgung in sogenannter Add-on-Technologie projektieren und anwenden. Kritische Größen sind gegenwärtig die Vereinheitlichung (unification) der Software, ihre Prüfung (testing), ihre metrologische Beglaubigung (verification) und der Nachweis ihrer Rechtsgültigkeit (validation).

D. STANIVUKOVIC und S. KECOJEVIC/Jugoslawien wiesen nach, daß Qualitätssicherung und Instandhaltung zwar unterschiedlichen Quellen entspringen, aber nach modernen Konzeptionen einander immer mehr durchdringen, um schließlich in einen einheitlichen konzeptionellen Rahmen einzugehen. Wesentlichste Ursachen sind Vereinheitlichungen in der Hardware und Software sowie innere Zwänge der industriellen Reproduktionsprozesse, die sich gesetzmäßig zu höherer Genauigkeit, höherer Zuverlässigkeit, geringerer manueller Wartung, höheren Gebrauchswerten und niedrigeren Preisen entwickeln. Der Übergang vom Mangel- bzw. Nachfragemarkt zum Überfluß- bzw. Angebotsmarkt wirkt international qualitätssteigernd und hat ein neues Kundenverhalten zur Folge. Es wird erwartet, daß Konsum- und Investitionsgüter nicht mehr durch physischen und technischen, sondern nur noch aufgrund von moralischem Verschleiß ausgesondert werden müssen.

Vom Beginn unseres Jahrhunderts bis zu seinem Ende vollzog oder vollzieht sich eine Entwicklung der Instandhaltungsmethoden von der manuellen korrigierenden Instandhaltung über die geplante vorbeugende Instandhaltung, die industriemäßige Instandhaltung, die zustandsabhängige Instandhaltung bis zu Expertensystemen für die Instandhaltung und schließlich zu Eigeninstandhaltung.

In Vorlesungen und Seminaren wurde gezeigt, warum und wie moderne Rechentechnik als stimulierender Faktor wirksam wird.

E. REJEC/Jugoslawien brachte zum Ausdruck, daß enge Spezialisierung und weite Aufteilung von Kompetenz und Verantwortung quasi undurchdringliche Zwischenschichten zwischen Basisprozessen und ihren Leitungsbefugten entstehen ließen. Dadurch werden notwendige Instandhaltungsmaßnahmen teilweise verzögert, verhindert, nicht erkannt oder überzogen. Er hofft, daß die modernen Informationstechnologien wieder den direkten Zugriff zum Prozeß zulassen werden.

A. BALDIN/Italien äußerte sich ausführlich zur zustandsabhängigen Instandhaltung und wies nach, wie das ganze Spektrum moderner Meßverfahren und Meßgeräte einschließlich digitaler Geräusch- und Bildverarbeitung dafür genutzt werden muß. Besonders erfolgreich verläuft die zustandsabhängige Instandhaltung bei rotierenden Maschinen mit Kugel- und Gleitlagern.

H. LICEN/Jugoslawien ergänzte die Vorstellung moderner Gerätetechnik und zeigte insbesondere den Aufbau der Sensoren sowie den Mechanismus der Algorithmen. Eine besondere Stellung nahm „CAT systems" von *GenRad* ein. Das Softwarepaket für die rechnergestützte Prüfung CAT (computer-aided testing) umfaßt Module für die interaktive Signalanalyse, akustische Intensitätsanalyse, Oktavbandanalyse, Signaturanalyse, Strukturanalyse bzw. Modalanalyse, Schwingungsanalyse für zufällige, systematische, sinusoidale und überlagerte Schwingungen, für Stoßwellenanalyse und für die Analyse von Übergangsfunktionen. Die Bedienung erfolgt menüorientiert und ohne Kenntnis der intern genutzten speziellen Rechnersprachen.

V. MAJSTOROVIC beschrieb die Schwierigkeiten, die beim Entwurf eines neuen Expertensystems für Diagnose und Wartung mechanischer Systeme auftraten.

A. WILSON/GB und G. VITARELLI/Italien behandelten Probleme der rechnergestützten Instandhaltungsorganisation CAMM (computer-aided maintenance management) und stellten heraus, daß die moderne Instandhaltung von den Ressourcen, wie Material, Energie, Information, und Arbeitskräften über Operationsstrategien (Politik, Wirtschaftsstrukturen, Organisationsformen, Arbeitskräfte, Ausrüstungen, Materialien, Ressourceplanung, Arbeitsmethoden) und Vermögensstand bis hin zur Produktion reicht. In der Produktion interessieren besonders der Wert der Instandhaltung und ihr Profit. Bei Entscheidungen ist immer zu fragen: Ist es einfach genug? Wieviel wird es kosten? Worin besteht der Nutzen?

Qualitätssicherungs- und Instandhaltungssysteme, die auf dem Markt sind, können andeuten, was erreicht werden kann, geben eine ungefähre Vorstellung von den Kosten und fördern eine schnellere Implementierung, aber ohne Garantie. Diese Systeme können nicht die Kundenbedürfnisse spezifizieren, und sie können nicht den Nutzen für den Kunden angeben.

Eine repräsentative Umfrage in England ergab folgende Erwartungshaltungen für die Hardware- und Softwarekosten für ein und dasselbe System:

16% weniger als 10000 Engl. Pfund, 19% zwischen 10000 und 20000 Pfund, 17% zwischen 20000 und 50000 Pfund, 10% zwischen 50000 und 100000 Pfund, 21% mehr als 100000 Pfund und 17% keine Angabe möglich.

Bemerkenswert sind die detailliert untersetzten Angaben für den Speicherplatzbedarf von endgültig 109 Mbyte. Beim Übergang von einem entwickelten manuellen Instandhaltungsmanagementsystem auf ein rechnergestütztes Managementsystem werden etwa 25% der Arbeitskräfte eingespart.

Bei der Implementierung neuer Systeme stellt sich meistens heraus, daß die Datensammlung sehr zeitaufwendig ist, daß die Handbücher ärmlich sind, daß die Programmierunterstützung ärmlich ist und daß das Schreiben von Spezifikationen viel Zeit benötigt.

Als Empfehlung ist zu geben: Spezifikation aufschreiben, alle möglichen Anwendungen einbeziehen, die handelsüblichen Systeme zur Kenntnis nehmen, ein flexibles System bevorzugen und erst dann Einkaufen gehen, wenn ein Einkaufzettel vorliegt.

Zusammenfassend kann folgendes festgestellt werden:

1. Die ökonomische und ideologische Stellung der Qualität im volkswirtschaftlichen Reproduktionsprozeß gewinnt an Bedeutung.
2. Verbale Bekenntnisse zur Qualität und zu Forderungsprogrammen an andere bringen nicht den erwarteten Effekt.
3. Die Qualitätserhaltung hat bei bisherigen Betrachtungen einen zu niedrigen Rang.
4. Der Angebotsmarkt verlangt neue Grundeinstellungen zur Qualität im gesellschaftlichen Reproduktionsprozeß.
5. Mangel an Material, Energie und/oder Information bewirkt Qualitätsminderung und verschlechtert die Wettbewerbsfähigkeit.
6. Obwohl zahlreiche Kunden in Übergangszeiten bereit sind, für bessere Waren auch höhere Preise zu zahlen, setzten sich historisch nur solche Erzeugnisse durch, die langfristig besser und billiger sind.

7. Dienstleistungen zur Qualitätserhaltung gehören zu Leistungen, die der Kunde vom Hersteller oder Vertreiber erwartet, und die er im Rahmen konkurrierender Angebote weitgehend durchsetzen kann.
8. Die Software wird bestimmendes Element der Instandhaltungs- und Qualitätssicherungssysteme.
9. Eigenentwicklungen von Software werden immer riskanter, weil die Gefahr wächst, daß sie zu teuer werden, daß das „Rad neu erfunden wird", daß bei der Einführung potentieller Nutzen verloren geht, daß die Module zu eng sind und daß der Amortisationszwang vorhandener Informationstechnik den Anwender von potentiellen Fortschritten ausschließt.
10. Wichtigstes Element der Qualitätssicherung und Instandhaltung ist die rechtzeitige Qualifizierung der potentiellen Nutzer. Trainingskurse auf dem Gebiet der Qualitätssicherung kosten gegenwärtig etwa 500,— DM je Mann und Tag.

Die Volltexte der Vorträge zum Seminar sind in zwei Bänden in serbokroatischer Sprache erschienen und zwar „Moderne Konzepte der Instandhaltung" (Herausgeber D. Stanivukovic) und „Moderne Konzepte der Rechnergestützten Qualitätssicherung" (Herausgeber B. Kamberovic). Beide Materialien können beim Berichterstatter eingesehen werden.

msr 9083 D. Hofmann

Models and Forecasts 88

Seit 11 Jahren treffen sich Vertreter von Hochschulen und Akademien sozialistischer Länder regelmäßig zu den Tagungen „Models and Forecasts". „Models and Forecasts" versteht sich als Plattform zur Diskussion, zur Wissensvermittlung und zum Erfahrungsaustausch für ökonometrische und dynamische Modellbildung, für Anwendungen in der Ökonomie und für die Entwicklung von statistischen Techniken zur Analyse, Vorhersage und Simulation.

Unter Leitung von W. Welfe/Universität Łódž (VR Polen) arbeitet ein ständiges Organisationskomitee. Die Tagungsorte liegen entsprechend den Hauptteilnehmern (etwa 50 regelmäßig teilnehmende Personen) in der VR Polen, der Ungarischen VR, der ČSSR und der VR Bulgarien.

Es gibt außerdem eine Reihe ständiger Gäste aus westeuropäischen, afrikanischen und asiatischen Ländern. Der um gelegentliche Teilnehmer erweiterte Kreis beträgt etwa 80 Personen aus 20 Ländern. Zu den Merkmalen von „Models and Forecasts" gehört, daß über

- die Modellbildung für komplizierte ökonomische Systeme
- die Entwicklung moderner mathematisch-statistischer Methoden und deren Anwendung
- die Nutzung von international üblichen Softwarepaketen zur Vorhersage
- die Anwendung nationaler integrierter Softwarelösungen zur Vorhersage

referiert wird. Es treten traditionell zahlreiche Nachwuchswissenschaftler aus allen Wirtschaftsgebieten auf. Die Konferenzsprache ist Englisch.

„Models and Forecasts 88" fand vom 22. bis 24. August 1988 in Budapest statt. Ausrichter war die Karl-Marx-Universität Budapest. Teilnehmer aus 13 Ländern, darunter die VR China, die Schweiz, Österreich und Frankreich, boten ein Programm von 42 Vorträgen in zwei Sektionen an. Es gab Plenarvorträge zum Stand der ökonomischen Modellbildung von W. Welfe (VR Polen), V. Klaus (ČSSR) und G. Galli (Italien). Das Vortragsspektrum umfaßte folgende Problemkreise:

- Makroökonomische Modellbildung
- Widerspiegelung der Dynamik ökonomischer Prozesse
- Markt und Nichtgleichgewicht
- Methodologische Aspekte von Zeitreihenanalyse und Vorhersage
- Modellierung internationaler wirtschaftlicher Beziehungen
- Einkommens- und Verbrauchsvorhersage
- Dynamische Modellbildung in der Finanzwirtschaft
- Industrielle Anwendungen von Vorhersagemethoden.

Schwerpunkte der Diskussion waren

- die Widerspiegelung von Gleichgewicht und Ungleichgewicht bei der ökonometrischen Modellbildung
- die Abbildung dynamischer nationaler Wirtschaftsentwicklung aus der Sicht zentraler staatlicher Planung mittels Simulationsstudien
- die Modellierung inflationärer Entwicklungen und geeigneter Überwachungsmechanismen
- die Behandlung von Instationarität bei uni- und multivariaten Zeitreihenvorhersagen.

Ein wesentliches Problem von „Models and Forecasts 88" bestand darin, die Konsequenzen der veränderten ökonomischen Bedingungen in den meisten sozialistischen Ländern für die Modellbildung auf volkswirtschaftlicher Ebene aufzuzeigen.

V. Klaus schlug vor, daß künftig

— überprüfbare Hypothesen auf dem Boden einer adäquaten ökonomischen Theorie formuliert und zum Aufhänger einer neuen Art ökonometrischer Modellbildung gemacht

— Einflüsse der aktuellen ökonomischen Situation speziell im Hinblick auf Ungleichgewichte (z. B. zwischen Kaufkraft und Bereitstellung von Konsumgütern mit Auswirkungen auf den Arbeitsmarkt), auf die Funktions- und Leistungsfähigkeit der Ökonomie und das Verhalten ökonomischer Triebkräfte modellmäßig erfaßt

werden sollten.

Die im Lauf der Tagung vorgestellten ökonometrischen Modelle, wie W7 S82 (Jahresplanmodell der VR Polen mit maximal 105 Gleichungen und 318 exogenen Variablen) oder CEM-4 (Jahresplanmodell der ČSSR, in aggregierter Form mit 65 Gleichungen und 144 exogenen Variablen) zeigten Möglichkeiten auf, Ungleichgewichtsprobleme in bereits bekannte Ansätze zu integrieren. Statische Betrachtungen der klassischen Input-Output-Rechnung spielten im Gegensatz zum Vorjahr keine dominierende Rolle mehr. Eine Hinwendung zur dynamischen Modellbildung war erkennbar, in Verbindung mit weiterführenden Interpretationshilfen zur Auswertung von „Wenn-Dann"-Vorhersagen.

Auf dem Gebiet der Zeitreihenanalyse und Vorhersage gab es eine Reihe anwendungsorientierter Beiträge, die methodisch auf Kalman-Filtern, ARMAX-Ansätzen oder Fehlerkorrekturmodellen beruhten. Es zeigte sich, daß mit dem weiteren Vordringen mathematisch-statistischer Software für Mikrorechner eine größere Vielfalt an einsetzbaren Analyse- und Vorhersageverfahren entsteht und der Auswahl adäquater Methoden große Bedeutung zukommt.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß die Tagungen „Models and Forecasts" gute Möglichkeiten zu Fachgesprächen über theoretische und praktische Probleme der Vorhersage bieten.

Ausrichter für „Models and Forecasts 89" ist Jugoslawien.

Die Hochschule für Ökonomie „Bruno Leuschner" Berlin wird diese Tagung vom 5. bis 7. September 1990 in Berlin ausrichten (siehe msr, Berlin 32 (1989) 9, 3. US). Dabei ist an eine Ausweitung des bisherigen Vortragsspektrums um

- grundlegende methodische Probleme einer wissensbasierten Vorhersage
- moderne Methoden der Zeitreihenanalyse und Vorhersage in ökonomisch angrenzenden Anwendungsbereichen

gedacht.

Anfragen sind zu richten an
Hochschule für Ökonomie
„Bruno Leuschner"
Sektion Wirtschaftsinformatik
Bereich Systemforschung
Dr. W. Götze
Hermann-Duncker-Str. 8
Berlin
1157

msr 9094 W. Götze

Systec '88

Die Fachmesse „Systec", die 2. Internationale Fachmesse für Computerintegration im Produktionsunternehmen, wurde vom 25. bis 28. Oktober 1988 in München durchgeführt. Sie ist neben der „Systems", der „Electronica" und der „Productronica" eine der vier Fachmessen, die die Münchner Messe- und Ausstellungsgesellschaft mbH zum Themenkreis: Computerintegration im Fertigungsprozeß auf den Gebieten Entwicklung, Konstruktion, Fertigung und Logistik durchführt.
Inhaltliche Zielstellung der Systec-Fachmesse ist es, neueste Ergebnisse der Hardware- und Softwareentwicklung zum Themenkreis „Computerintegration im Fertigungsprozeß" vorzustellen. Unter dem Leitthema „Fabrik der Zukunft" präsentierten rd. 600 Aussteller aus 14 Ländern (1986: 100 Aussteller aus 11 Ländern) auf einer Ausstellungsfläche von 35000 m^2 neueste Produkte zur Gesamtthematik CIM (Computer Integrated Manufacturing). Man konzentrierte sich dabei vor allem auf den produktionsvorbereitenden Bereich von CIM. Auf diesen Bereich entfallen nach Aussage führender Hersteller von CIM-Produkten über 75% der Kosten für die Herstellung eines Erzeugnisses. Das sehr stark zunehmende Interesse an Hardware- und Softwareprodukten für die Realisierung von CIM-Lösungen zeigt in eindrucksvoller Weise auch das gestiegene Interesse von Ausstellern und Besuchern an der diesjährigen Systec-Fachmesse. So bedeutete die o. g. Ausstellungsfläche eine Zunahme um 15%. Bei den Ausstellern war eine Zunahme um 500% zu registrieren.
Begleitet wurde die „Systec '88" von zwei Kongressen, die ebenfalls von den Messeorganisatoren in Verbindung mit dem VDI und international führenden Wissenschaftlern veranstaltet wurden.
Es handelte sich hierbei um

- den „Internationalen CIM-Kongreß" (25./26. 10. 1988 — organisiert von Prof. Dr. J. Milberg (TU München)
- den „Internationalen CAD-Kongreß" (26./27. 10. 1988 — organisiert von Prof. Dr. H. Grabowski (Universität Karlsruhe).

Ein CIM-Leitfaden, herausgegeben vom Messeorganisator, vermittelte dem Messebesucher interessante Aspekte zu den Problemkreisen

- PPS (Produktionsprozeßsteuerung)
- CAE (einschließlich CAD/CAM)
- BDE (Betriebsdatenerfassung)
- CAQ (einschließlich KI und Diagnose-expertensysteme)
- JIT (Just-In-Time)-Produktion,

die auch für die Präsentationen auf der Messe selbst bestimmend waren.
Im Rahmen der Messe fanden weiterhin insgesamt 7 Sonderschauen zu den Themen

- CAD im Bauwesen
- Bundesverband Deutscher Unternehmer BDU e.V.
- VITA (Gemeinschaftsausstellung von 9 VMEbus-Herstellern)
- Rechnerintegrierte Produktion
- EMUG — European MAP-User-Group
- ESPRIT (CIM-OSA)
- Systec-Karrierezentrum

statt. Hier wurden wichtige Interessens- bzw. Forschungsgebiete deutlich, denen sich CIM-Anwender bzw. -Interessenten gegenwärtig widmen.
Besonders hervorzuheben, weil auch für die DDR von starkem Interesse, waren die Sonderschauen „Rechnerintegrierte Produktion", „EMUG" und „ESPRIT (CIM-OSA)".
So demonstrierte im Rahmen der Sonderschau zur „Rechnerintegrierten Produktion" das Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswirtschaft der TU München in Verbindung mit Computerfirmen bzw. Herstellern von CIM-Produkten eine CIM-Anwendung, bei der schwerpunktmäßig

- die rechnerintegrierte Auftragsabwicklung mit einer mehrstufigen Fertigung
- die rechnergestützte Montageplanung
- das Fräsen von Freiformflächen mit Industrierobotern

vorgeführt wurde.
Die Sonderschau der European MAP-User-Group hatte eine gemeinsame MAP-Demonstration von 19 Firmen zum Inhalt, die zeigte, daß MAP in Projekten der Fabrikautomatisierung eingesetzt werden kann. Im einzelnen wurden auch Funktionen der Manufacturing Message Spezifikation (MMS) demonstriert, die Einbindung von verschiedenen Gerätetypen in ein hierarchisch aufgebautes MAP-Netzwerk, Carrierband und Lichtwellenleiter-Subnetzwerke, ein transparenter Integrationsweg von MAP 2.1./2.2. zu MAP 3.0. unter Verwendung von MMS sowie die Koexistenz von MAP 2.1./2.2. und MAP 3.0. auf demselben logischen Kanal vorgestellt.
Das CIM-Konzept, das ja nach offenen Systemarchitekturen verlangt, wenn es in all seinen Möglichkeiten umgesetzt werden soll, wurde eindrucksvoll im Rahmen der Sonderschau „ESPRIT (CIM-OSA)" demonstriert. Hier zeigten 22 Aussteller eine Verknüpfung von unterschiedlichen Systemen und CIM-Komponenten in einem einheitlichen Verbund. Das Vorhaben richtet sich vor allem auch an kleinere und mittlere Industriebetriebe, die sich der CIM-Problematik zuwenden wollen.
Nicht unterschätzt werden darf die neue Qualität, die die Berufe in der Fertigungstechnik unter dem Aspekt der Entwicklung und des Aufbaus von CIM-Lösungen erlangen. Führende Konzerne der BRD demonstrierten im Rahmen der Sonderschau „Systec-Karrierezentrum" die Möglichkeiten, Notwendigkeiten und neuen Profile, die mit der Realisierung von CIM in ihrem Bereich verbunden sind. Nicht zuletzt handelte es sich hierbei auch um eine Werbeveranstaltung der betreffenden Firmen zur Gewinnung von Spezialisten, die sie für die Realisierung bzw. die Umsetzung des CIM-Konzeptes in ihrem Bereich benötigen.
Bei den Einzelrepräsentationen der etwa 600 Aussteller auf der „Systec" handelte es sich durchweg um Hochtechnologieprodukte im bereits erwähnten vorbereitenden Bereich von CIM. Es wurde dabei das derzeitige Anliegen westeuropäischer Hersteller von Hardware- und Softwareprodukten für den CIM-Bereich deutlich, vor allem Klein- und Mittelbetriebe anzusprechen. Hier liegt nach der Einschätzung von Spezialisten ein erheblicher Investitionsmarkt. Nach Aussagen von Beteiligten gilt es dabei, der überaus starken internationalen Konkurrenz aus Asien und den USA auf dem westeuropäischen Markt zu begegnen, in dem man einen Vorteil durch eine effektive Gestaltung des Produktionsprozesses mittels CIM erreicht.
So war in den Exponaten einer großen Zahl von Ausstellern kennzeichnend, daß außerordentlich leistungsfähige Hard- und Software zu kostengünstigen Preisen auch für westeuropäische Klein- und Mittelbetriebe angeboten wurde. Dies gilt zum Beispiel für Systeme auf dem Gebiet der Mikrorechentechnik, wo leistungsfähige Arbeitsplatzrechner für CAE-Aufgaben angeboten wurden. So bietet beispielsweise das Modell HP 9000, Serie 360, von Hewlett-Packard, das mit dem Motorola-Prozessor 68030 und dem Gleitkomma-Coprozessor MC 68882 ausgerüstet ist, bei 25 MHz Taktfrequenz 5,5 MIPS (Million Instructions Per Second). In der Version HP 9000, Serie 370, werden bei einer Taktfrequenz von 33 MHz 7 MIPS erreicht. Kennzeichnend war weiter das zunehmende Angebot von offenen Rechnersystemen, zum Beispiel mit dem Macintosh II (Motorola 68020) und dem Macintosh IIx (Motorola 68030) oder auch dem IBM-PS2 Model 80 (Intel 386), die sowohl in UNIX (bzw. der IBM-spezifischen Version AIX) und auch auf Basis MS-DOS arbeiten. Beide Rechnersysteme, die vielfach angeboten wurden, eignen sich sowohl als Meßgeräterechner als auch als CAE-Station und werden in unterschiedlichen Konfigurationen auch als Desk-Top-Publishing-Systeme angeboten.
Interessant sind die Programmierumgebungen LabWindow für IBM-PS2 und LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workstation) für Macintosh II. Beide Programmsysteme bieten ausgezeichnete Einsatzmöglichkeiten sowohl für Meßtechnikanwendungen als auch für Desk-Top-Publishing-Aufgaben. Zur Unterstützung werden leistungsfähige Laserprinter mit einer Auflösung von 300 Bildpunkten/Zoll als Standardwerte sowie für Farbkopien Drukker auf der Grundlage des Tintenstrahlprinzips angeboten. Umfangreiche Entwicklungen wurden auf dem Gebiet der Laserscanner, besonders in Verbindung mit Desk-Top-Publishing-Systemen, gezeigt. Standardwerte der Auflösung liegen hier auch bei 300 Punkten/Zoll. Leistungsfähige Systeme ermöglichen es, bis zu 800 Bildpunkten/Zoll mit 6 bit Pixeltiefe zu erfassen. Die Ab-

(Fortsetzung auf S. 427)

Experimentelle Prozeßanalyse. Von J. WERNSTEDT. Berlin: VEB Verlag Technik 1989. 391 Seiten, 242 Bilder, 139 Tafeln. 40,— M. Bestell-Nr. 554 069 2

„Endlich!" — möchte man angesichts der langjährigen Lücke im DDR-Fachbuchangebot im Hinblick auf die experimentelle Signal- und Systemanalyse ausrufen. Während der diesbezügliche internationale Buchmarkt seit gut 15 Jahren florierte, hielt sich das DDR-Verlagswesen vornehm zurück. Umso erfreulicher, daß nun nicht einfach nur eben auch ein Buch zur Thematik vorliegt; es ist im Gegenteil ein Werk, das in außerordentlich praxisbezogener Weise die vielschichtigen Probleme der Identifikation statischer und dynamischer, ungestörter und gestörter, linearer und nichtlinearer Prozesse behandelt. Vom Beginn an wird dem Leser klar, daß der Autor über einen großen Erfahrungsschatz auf diesem Gebiet verfügt. Die Bedeutung der experimentellen Prozeßanalyse für die Gewinnung von Streckenmodellen als Grundlage moderner Regelungsverfahren, für die Vorhersage von Prozeßabläufen im Hinblick auf die Technische Diagnostik oder die Anwendung in der Wasserwirtschaft, Pflanzenproduktion bzw. Medizin wird anhand zahlreicher durch den Autor federführend bearbeiteter Projekte (echte Einsatzfälle in industriellen und nichtindustriellen Wirtschaftszweigen) demonstriert. Danach werden unter dem Stichwort „Beschreibung des Amplitudenverhaltens von Signalen" die notwendigen Grundlagen der Wahrscheinlichkeitsrechnung und Statistik vermittelt. Im Kapitel 3 „Beschreibung des dynamischen Verhaltens von Signalen" werden zu determinierten und stochastischen, kontinuierlichen und zeitdiskreten Signalen die Beschreibungen angegeben, erweiterte Signalmodelle (bis hin zum ARMA-Modell) entwickelt und wichtige Methoden der Signalkorrektur und -filterung (einschließlich Filterentwurf) diskutiert. Im 4. Abschnitt werden die traditionellen Identifikationsverfahren ungestörter Systeme (Auswertung von Sprung- und Impulsantworten bzw. des Frequenzganges, Zustandsbeobachter) erläutert. Der vom Autor selbst geprägten Ilmenauer Linie folgend wird danach die Identifikation gestörter Systeme streng unterteilt in die Ermittlung des statischen und des dynamischen Verhaltens. Die Schätzstrategien werden ausführlich diskutiert (Parameterschätzverfahren, Zustandsschätzverfahren) und untereinander in Verbindung gebracht, wobei direkten, iterativen und rekursiven (echtzeitfähigen, mit der Möglichkeit der Erfassung zeitvarianter Parameter) Schätzverfahren gebührender Raum geschenkt wird. Von besonderem Interesse sind dabei die kompakten und übersichtlichen Darstellungen der Methoden der optimalen Versuchsplanung und Testsignalfolgen zur Ableitung sinnvoller Eingangsgrößen zur Anregung der Systeme, die Schätzung nichtlinearer Systeme sowie eine Fülle praktischer Richtlinien für die Anwendung der Schätzverfahren. Auf die wesentlichen Aussagen beschränkt bleiben die Ausführungen zur Parameterschätzung im geschlossenen Regelkreis und zu Mehrgrößensystemen. Noch nicht einbezogen (und somit vielleicht als Vorschlag für eventuelle künftige Auflagen gedacht) sind die derzeit vieldiskutierten Probleme der robusten Parameterschätzung und der Erhöhung der numerischen Stabilität der Schätzstrategien.

Bei allem theoretischen Anspruch ist das Buch für Anwender geschrieben. Es geht von einer einheitlichen und kompakten Darstellung aus und ist didaktisch hervorragend aufgebaut. Zahlreiche Übungsaufgaben (mit Lösungen!) erleichtern das Selbststudium. Allen, denen die rechnergestützte Prozeßidentifikation ein Anliegen ist, kann das Buch wärmstens empfohlen werden.

B 2486 D. WERNER

(Fortsetzung von S. 426)

tastung ist mittlerweile bis zu A3-Formaten möglich. Wichtig für CAE-Aufgaben sind die beeindruckenden Entwicklungen auf dem Gebiet der Computergrafiken. Zum einen werden hochauflösende Grafikmonitore mit 1024 × 1024 Pixeln und größer angeboten und zum anderen Computerfarbsysteme, die mehrere Millionen Farbstufen ermöglichen. Herausragend erschien hier das Computerfarbsystem von Tektronix, das Farbdarstellungen in 16,4 Mill. Farbstufen gestattet. Auf dem Gebiet der Speichermedien ist eine umfangreiche Entwicklung auf dem Gebiet der DAT-Kassettensysteme zu verzeichnen gewesen. Leistungsfähige Systeme, die im Schrägspurverfahren arbeiten, bieten Speicherdichten von 1,2 Gbyte auf einer etwa scheckkartengroßen R-DAT-Kassette zu sehr niedrigem Preis.

Aus dem Bereich des RGW war auf der „Systec '88" nur die VR Ungarn durch einen Informationsstand des Außenhandelsunternehmens METROIMPEX Budapest vertreten. Im Hinblick auf die stürmischen Entwicklungen, die hier unter dem Aspekt von CIM zu verzeichnen sind, sowie auf die Bedeutung, die diese Problematik auch für die DDR hat, scheint auf zukünftigen Systec-Fachmessen eine DDR-Beteiligung sinnvoll und anstrebenswert. msr 9058

G. FRANKOWSKI

Structural Safety Evaluation Based on System Identification Approaches. Proceedings of the Workshop at Lambrecht/Pfalz. Von H. G. NATKE und J. T. P. YAO. Braunschweig/Wiesbaden: Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft 1988. 502 Seiten, 159 Bilder, 54 Tafeln.

Die Überwachung von Systemen und Anlagen mit dem Ziel der rechtzeitigen Erkennung von Defekten und bedrohlichen Veränderungen spielt in vielen Gebieten der Technik wegen der zunehmenden Komplexität eine größere Rolle. Dabei muß die Sicherheit ohne wesentliche Behinderung des laufenden Betriebes gewährleistet werden. Durch die Verfügbarkeit moderner Auswertetechnik bietet sich an, aus dem im normalen Betrieb meßbaren Eingangs-/Ausgangssignalen ein dynamisches Prozeßmodell zu berechnen, um durch Vergleich mit gegebenen Modellen auf Systemveränderungen zu schließen.

Eine erste internationale Arbeitstagung zu dieser Thematik fand im Sommer 1987 in der BRD statt. Die Fachleute aus Nordamerika, Westeuropa, Polen und Japan stellten theoretische und vor allem praktische Ergebnisse vor, die in Buchform jetzt einem breiten Interessentenkreis zugänglich werden. Als Tagungsbericht spricht es zunächst die Spezialisten an. Dem Einsteiger wird die parallele Beschäftigung mit der reichlich angegebenen Grundlagenliteratur empfohlen, zu der unter anderem die Editoren selbst beigetragen haben.

In der Mehrzahl der 23 ausschließlich englischsprachigen Beiträge wurden die Methoden auf Zuverlässigkeitsprobleme des Hoch- und Tiefbaus, des Maschinenbaus oder der Raumfahrttechnik angewendet. Obwohl kein direkter Bezug zur Elektrotechnik/Elektronik mit ihren vielfältigen Erfahrungen auf diesem Gebiet hergestellt wird, kann der Automatisierungsingenieur eine Reihe von Anregungen bezüglich der Methoden oder der Meßtechnik entnehmen. In dieser Hinsicht verdient die von J. L. BECK geschriebene Zusammenfassung der Diskussionen besondere Erwähnung.

Als Orientierung für eigene Untersuchungen stellt das Buch eine nützliche Hilfe dar.

B 2381 B. LAMPE

Das Software-Lexikon. Von K. W. JAMIN. Ehningen: expert Verlag und Stuttgart: Taylorix-Fachverlag 1988. 348 Seiten.

Gegenwärtig besteht ein wachsender Bedarf an Lexika, insbesondere für sich so schnell entwickelnde Wissenschaftszweige wie die Informatik. Speziell dem Problemkreis der Software haben sich die Autoren (von denen allerdings nur einer namentlich genannt wird) gestellt und dabei einen durchaus eigenständigen Weg gewählt. So findet man unter den rund 1000 Stichwörtern außer naheliegenden Begriffen (z. B. programmieren) eine Reihe höherer Programmiersprachen, teilweise mit Beispielprogrammen. Enthalten sind auch Kurzcharakteristiken von aktuellen Programmsystemen für 16-bit-Per-

sonalcomputer sowie Erläuterungen von BASIC-Anweisungen und einigen ASCII-Zeichen. Aber auch Institutionen und Slang-Ausdrücke (z. B. Hacker und Softwareklau) tauchen auf. Begriffe wie Softwaretechnologie, Spezifikation und (Programm-)Entwurf fehlen dagegen.
Die Autoren wählten einen recht lockeren Stil und wollten offensichtlich einen breiten Kreis von jugendlichen Computerfans ansprechen. Die Qualität der Erläuterungen ist unterschiedlich. Präzise Definitionen sind selten (z. B. beim Zitieren von DIN 44300). Eine ganze Reihe von Begriffen wurde jedoch trotzdem klar und treffend charakterisiert. Meist erfolgen die Erklärungen aber durch anschauliche Beispiele aus dem täglichen Leben, die nicht in allen Fällen den eigentlichen Kern treffen. Positiv hervorzuheben ist die große Anzahl von Querverweisen. Zusammenfassend ist einzuschätzen, daß mit dem Software-Lexikon einem breiten Bedürfnis entsprochen und eine Lücke des Büchermarktes geschlossen wurde. Mit seiner Hilfe können sich Hobby-Informatiker qualifizieren. Aber auch der Fachmann entnimmt trotz der ungewohnten Sicht manche neue Information.
B 2395 D. Werner

Technische Grundlagen der Informatik, Elektronik, Datenverarbeitung und Prozeßsteuerung für Naturwissenschaftler und Ingenieure. Von D. Ebner. Berlin/Heidelberg/New York/London/Paris/Tokyo: Springer-Verlag 1988. 433 Seiten, 314 Bilder.

Das Buch stellt eine Einführung zu einigen Komponenten der Informatik dar. Es wendet sich vor allem an Leser aus dem Bereich der Anfänger, die den inneren Aufbau von Computern verstehen und Informatik einführend aus Hardwaresicht mit gleichzeitiger Darstellung von Grundlagen analoger und digitaler Elektronik kennenlernen sollen, um z. B. Kopplungen von Computern miteinander oder mit prozeßnahen Einrichtungen realisieren zu können.
Die Darstellungen sind auf den Anwender (Anfänger) zugeschnitten, es wird bis auf einfache Grundlagen der Schaltungstechnik und Elektrotechnik zurückgegangen. So kommt z. B. der Mikroprozessor erst auf Seite 253 zur Sprache und deshalb wird auch verständlich, daß der Titel des Buches die damit gesetzten Erwartungen eigentlich nicht erfüllt. Die Wiedergabe der Hauptabschnitte des Buches spiegelt diesen Sachverhalt wider. Die Abschnitte sind:

1. Physikalische Grundlagen (24 Seiten); 2. Dioden und einfachste Anwendungen (20 Seiten); 3. Elektrische Geräte und Meßinstrumente (20 Seiten); 4. Der Transistor (35 Seiten); 5. Der Operationsverstärker (20 Seiten); 6. Analoge Spezialbauteile und Spezialanwendungen (25 Seiten); 7. Elektromagnetische Kompatibilität (35 Seiten); 8. Die Programmiersprache BASIC (41 Seiten); 9. Architektur und Maschinensprache eines Mikroprozessors (45 Seiten); 10. Die TTL-Bausteine der Digitalelektronik (13 Seiten); 11. Das Z80-PIO als Kontakt zur Außenwelt (8 Seiten); 12. Datenerfassung und Prozeßsteuerung (5 Seiten); 13. Der IEC-Bus als genormte Schnittstelle zur Steuerung von Experimenten (21 Seiten); 14. Die IEC-Symbolik für digitale Bauteile (20 Seiten); 15. Digitale Spezialbauteile (41 Seiten).

An der Übersicht wird auch deutlich, daß das vom Verfasser gesetzte Ziel, unter der Maßgabe bei diesem Umfang auch die Grundlagen der Elektrotechnik zu behandeln, aus rein praktischer Sicht wohl kaum erreichbar ist. Der Verfasser hat es sehr gut verstanden, das Buch mit einer Reihe sehr anschaulicher Beispiele zu durchsetzen.
B 2386 H. Töpfer

Wissensdarstellung für Expertensysteme. Von D. E. Altenkrüger. Mannheim/Wien/Zürich: Bibliographisches Institut 1987. 314 Seiten.

In nahezu allen Bereichen der Gesellschaft wird in den letzten Jahren der Versuch unternommen, die Konzeption der Wissensverarbeitung mittels Expertensystemen anzuwenden und ihre effektiven Möglichkeiten und Grenzen zu erkennen. Das Buch gibt in Form einer kompakten Darstellung dem Leser Übersichten zu Begriffen, Programmiersprachen und Entwicklungswerkzeugen für Expertensysteme.
In einem Grundlagenabschnitt werden in sehr guter Form Überblicke zu den Komplexen des Wissens, der Expertensysteme, der Programmiersprachen und der Entwicklungswerkzeuge vermittelt. Schwerpunkt des Buches ist die Darstellung und der Vergleich der Sprachen LISP, PROLOG, SMALLTALK und ADA. Besonders wertvoll ist für den Leser der gewählte einheitliche Aufbau der Darstellung. Es wird auf Fragen der Leistungsfähigkeit, der Syntax, auf theoretische Probleme sowie auf Sprachumfang und Terminologie bei jeder der genannten Sprachen eingegangen.
In sehr komprimierter Form werden wesentliche Entwicklungswerkzeuge von Expertensystemen, wie Flavors, LOOPS, OPS und TWAICE in ihren Hauptmerkmalen gekonnt vorgestellt. Das gilt auch für die Erläuterungen von Maschinenarchitekturen für LISP- und PROLOG-Maschinen sowie für Unix-Workstations und IBM-PC-kompatible Maschinen.
Gelungene Literatur- und Schlagwortverzeichnisse runden den guten Eindruck der Wissensdarstellung zum Gebiet der Expertensysteme ab. Das Buch ist für Entwickler und Nutzer der Expertensystemtechnologie gleichermaßen eine gute Stütze, die bereits über Grundwissen auf diesem Gebiet verfügen. Es gibt wertvolle Hinweise zur Anwendung von Sprach- und Entwicklungswerkzeugkonzepten. Dem Fachmann ist es eine ständige Hilfe bei der Suche nach einheitlichen Begriffen und weiterführender Literatur.
B 2383 J. Wernstedt

Wissensspeicher Fluidtechnik. Hydraulische und pneumatische Antriebs- und Steuerungstechnik. Von einem Autorenkollektiv. Leipzig: VEB Fachbuchverlag 1988. 416 Seiten, 287 Bilder, 127 Tafeln. 37,50 M.

Die stürmische Entwicklung der Mikroelektronik verdrängt manchmal das Bewußtsein, daß die Fluidtechnik mit ihren pneumatischen und hydraulischen Schalt-, Steuer-, Regel- und Meßelementen besonders in der Kombination mit der Elektronik auch in Zukunft eine wichtige Rolle in der Automatisierungstechnik spielt. Dementsprechend faßt der Wissensspeicher in rationeller und übersichtlicher Gliederung die bisher meist getrennt behandelten Gebiete der Informationsgewinnung und -verarbeitung sowie der Informationsnutzung, also der Stelltechnik der Pneumatik und Hydraulik, zusammen und erleichtert so die Überschaubarkeit dieses umfangreichen Wissensgebietes. Besonders im Abschnitt Grundlagen und Eigenschaften werden die Gemeinsamkeiten von Pneumatik und Hydraulik wie auch ihre teilweise spezifischen Unterschiede recht deutlich. Darüber hinaus werden Grundelemente und -schaltungen sowie Funktionseinheiten aus beiden Gebieten behandelt. Hier sowie bei der folgenden Gerätebeschreibung ist zu erkennen, daß besonders die Pneumatik über eine Anzahl von Funktionseinheiten der Signal- und Energieumwandlung verfügt, so daß sie in diesem Bereich durch ihre Robustheit und Zuverlässigkeit neben der Elektronik Beachtung finden sollte, besonders dann, wenn bestimmte Gesichtspunkte bei der Auswahl der Lösungsvarianten (z. B. die Versorgung aus vorhandenem Druckluftnetz) berücksichtigt werden sollen.
Weiterhin werden die wichtigsten Geräte der pneumatischen und hydraulischen Informationsverarbeitung, wie Druck-, Sperr-, Strom- und Wegeventile sowie die Stelleinrichtungen für größere Kräfte, beschrieben, die auch weiterhin in Verbindung mit der Elektronik eine dominierende Rolle spielen.
Der Fluiderzeugung, -aufbereitung und -fortleitung und den prinzipiellen Gesichtspunkten der Anwendung sind zwei weitere Kapitel gewidmet. Hier werden Pumpen- und Speicherstationen, Verdichteranlagen sowie Filterung und Schmierung in Druckluftsystemen behandelt. Schließlich sind auch einige wenige Hinweise zur Montage, Inbetriebnahme und Wartung angegeben. Die wichtigsten Symbole der Hydraulik und Pneumatik sowie eine Übersicht über die verwendeten Formelzeichen runden den Stoff ab.
Dem Ziel der Autoren und des Verlages, einen Wissensspeicher vorzulegen, der übersichtlich und rationell über den qualifizierten

Einsatz und eine fachgerechte Projektierung von fluidischen Elementen und Geräten informiert, wird das Werk in hohem Maße gerecht. Es ist somit für Projektanten von Automatisierungsvorhaben im Maschinen- und Industrieanlagenbau sowie BSMR-Techniker, Konstrukteure, Technologen und Studierende dieser Gebiete besonders zu empfehlen.

B 2448 G. F. Berg

Grundlagen der Entwicklung von Systemen zur automatisierten Projektierung flexibler Produktion. Von einem Autorenkollektiv. Moskau: Vysšaja škola. 174 Seiten, 60 Bilder, 8 Tafeln.

In der Reihe „Robotertechnik und flexible Automatisierung der Produktion" erschien dieses Buch als 8. Band, der vom sowjetischen Hochschulministerium als Lehrbuch für technische Fachrichtungen zugelassen wurde. Es widmet sich ausführlich jenen modernen Methoden der Projektierung, die auf der Modellierung der funktionellen, informationellen und leitungsorganisatorischen Struktur der technologischen Projektierung von flexiblen Produktionssystemen beruhen. Ein wichtiger Weg zur Qualitätserhöhung und gleichzeitigen Verbesserung der Arbeitsprozesse in der Projektierung ist die Automatisierung der Konstruktion. Das Buch dient als Lehrmaterial für eine Lehrveranstaltung „Theoretische Grundlagen der Entwicklung von CAD-Systemen" und macht den Studenten mit den Grundlagen der Automatisierung von Prozessen der Projektierung komplizierter technologischer Systeme der mechanischen Verarbeitung im Maschinenbau vertraut.

Nach einer Einführung in die methodologischen Grundlagen der Projektierung technischer Systeme und die Grundlagen ihrer Automatisierung werden die Hauptbestandteile derartiger CAD-Systeme erarbeitet. Auf dieser Grundlage behandelt das Autorenkollektiv Probleme der Projektierung flexibler Produktionssysteme sowie Probleme der Organisation von Systemen der automatisierten Projektierung.

B 2355 J.-A. Müller

MS-DOS. Von J. Hübener. Berlin: VEB Verlag Technik 1988. 240 Seiten. 24,— M. Bestell-Nr.: 554 097 5

MS-DOS hat sich in den letzten Jahren zu dem Standardbetriebssystem der PC-Rechentechnik auf 16-bit-Basis entwickelt. Dem Wunsch vieler Nutzer und Programmierer, sich intensiver in diese Technik einzuarbeiten, wird mit diesem Buch Rechnung getragen.

Für den erfahrenen Programmierer ist das Buch logisch gegliedert, wobei folgende Schwerpunkte gesetzt wurden: PC-Hardware, Prozessorprogrammierung, BIOS-Funktionen, DOS-Funktionen, DOS-Kommandos und Softwareentwicklung. Diese Aufzählung macht auch den Interessentenkreis für dieses Buch deutlich. Es wendet sich an den Programmierer, der speziell für diese Technik effiziente Programme erstellen will, die Funktionen haben sollen, die über die Möglichkeiten normaler Programmiersprachen hinausgehen. Für den Anfänger, sofern er keine Kenntnisse über andere Betriebssysteme besitzt, ist dieses Buch weniger geeignet, da für diesen Nutzerkreis zumindest die Gliederung in einer anderen Reihenfolge hätte erfolgen müssen. Ergänzt wird das Buch durch eine Reihe praktischer Tips und Programmierhinweise, die das Verständnis für die Nutzung der BIOS- und DOS-Schnittstellen durch höhere Programmiersprachen verbessern, wobei man doch mehr auf die Kopplung von DOS mit anderen Sprachen als Turbo-PASCAL hätte eingehen sollen, da Turbo die Nutzung von DOS- und BIOS-Routinen, im Gegensatz z. B. zu FORTRAN, bereits selbst unterstützt. Es fehlt im Kapitel der Hardwareprogrammierung leider die sehr oft benötigte Speicherstruktur von Bildschirmadaptern.

Abgerundet wird das Buch durch die Vorstellung von z. Z. aktueller Compiler- und Anwender-Software, allerdings erscheint die unvollständige Aufzählung von Compiler-Schaltern überflüssig.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß dieses Buch insgesamt als gelungenes Nachschlagewerk für die praktische Programmierung genutzt werden kann.

B 2444 D. Trippler

Elektrische Ausrüstungen von Industriemaschinen. Erläuterungen zu DIN VDE 0113, Teil 1/02.86. VDE-Schriftenreihe Band 26. Von J. Böhm, P. Heyder und M. Koenigs. Berlin/Offenbach: VDE-Verlag GmbH 1987. 158 Seiten, 66 Bilder, 11 Tafeln.

Dieser 1987 vom VDE-Verlag herausgegebene und von langjährig mit der Thematik vertrauten und international tätigen Fachautoren zusammengestellte Themenband 26 richtet sich an Elektroingenieure, Techniker und Meister der maschinenherstellenden Industrie. Er gibt wichtige Erläuterungen zum Teil 1 der BRD-Norm DIN VDE 0113 zu elektrischen Ausrüstungen von kraftbetriebenen Be- und Verarbeitungsmaschinen für Arbeits- und Fertigungsprozesse.

Diese Norm stellt eine nationale Untersetzung der IEC-Publikation 204-1, Ausgabe 1981, dar und wurde ebenfalls für die Mitgliedsländer der EG bearbeitet und in der Vorschrift EN 60204-1 harmonisiert. Das Buch gibt Erläuterungen und praxisorientierte Umsetzungshinweise, z. B. für folgende ausgewählte Festlegungsbereiche von DIN VDE 113:

- Anwendungsbereiche (Maschinen zum Be- und Verarbeiten von Metall, Holz, Kunststoffen, Textil- und Bekleidungsmaschinen, Druck- und Verpackungsmaschinen, Maschinen der Nahrungsmittelindustrie u. a.)
- allgemeine Bedingungen für Betrieb, Transport und Lagerung
- Begriffe (elektronische Ausrüstung, Schaltgerätekombination, Steuer- und Meldestromkreise, Elektrofachkräfte)
- Warnschilder, Aufschriften, Betriebsmittel — Kennzeichnungen und notwendige technische Unterlagen
- allgemeine Anforderungen an elektrische Betriebsmittel und deren Betriebsbedingungen
- notwendige Schutzmaßnahmen (Schutz gegen gefährliche Körperströme beim direkten bzw. indirekten Berühren, Überlast- und Kurzschlußschutz, Schutz bei Spannungswiederkehr, Unterspannungsschutz, Hauptschalter, Schutz im Fehlerfall und Beeinflussung durch Störfelder)
- Auslegung von Steuer- und Meldestromkreisen (Speisung, Schutz, Verriegelungen, Betriebsarten Automatik und Handbetrieb)
- Ausführung und Anordnung elektrischer Betriebsmittel insbesondere von Steuergeräten und Elektromotoren
- Arten, Nennquerschnitte, Belastbarkeit von Leitungen, Kabel und Leiter sowie Festlegungen zur Verdrahtung
- Arten und Ausführungen von Prüfungen (Isolations-, Spannungs- und Funktionsprüfungen).

Die Erläuterungen werden durch umfangreiche Bild- und Tafelmaterialien unterstützt und dadurch leicht verständlich dargestellt.

Weiterhin wird auf relevante BRD-Gesetze, -Verordnungen, -Unfallverhütungsvorschriften, DIN-Normen, VDE-Bestimmungen und VDI-Richtlinien bereits im Text und geordnet im Anhang hingewiesen. Der Band endet mit einem Stichwortverzeichnis, das den Zugriff auf Detailinformationen der Norm und deren Erläuterungen weiter erleichtert.

Da die vorgestellten Normen von einem großen Anwenderkreis in der EG verbindlich anzuwendenden sind, sollten deren Auslegung und Kommentierung für NSW-Exporte auch bei DDR-Fachleuten besondere Beachtung finden.

B 2344 H. Kloust

Kurzfassungen

Beuschel, J.:

Zur Vermittlung zwischen Theorie und Praxis

msr, Berlin 32 (1989) 9, S. 386—389

Der Beitrag schließt an die langjährigen Diskussionen zur „Kluft zwischen Theorie und Praxis“ in der Automatisierungstechnik an. Insbesondere wird die Funktion technischer Kenngrößen in der Vermittlung zwischen Theorie und Praxis begründet. Die Erläuterung orientiert sich an automatisierungstechnischen/-theoretischen Entwicklungen, ist aber auf diese nicht eingeschränkt.

Flämig, E.; Kath, U.; Urner, G.; Witke, W.:

Korrelationsverfahren für die Mehrphasendurchflußmessung

msr, Berlin 32 (1989) 9, S. 394—397

Es wird ein einfacher und damit kostengünstig aufgebauter Korrelator vorgestellt. Gleichzeitig wird gezeigt, wie ein solches Meßgerät mit einem Mikrorechner realisiert werden kann. Der Korrelator ist universell einsetzbar. Die Sensoren müssen sorgfältig an die jeweilige Meßaufgabe angepaßt werden. Es werden die Messungen von fest-gasförmigen, fest-flüssigen, gasförmig-flüssigen und flüssig-flüssigen Strömungen dargestellt und Vor- und Nachteile verschiedener Sensoren sowie der durch die Strömung bestimmten Einflußfaktoren diskutiert.

Klingner, M.:

Methode zur Berechnung Semi-Markovscher Zuverlässigkeitsmodelle

msr, Berlin 32 (1989) 9, S. 397—401

Die Anwendung Semi-Markovscher Mehrzustandsprozesse ermöglicht Zuverlässigkeitsberechnungen in Systemen, deren Funktionsfähigkeit zeitabhängigen Veränderungen unterliegt. Bisherige Modelle auf dieser Grundlage waren sehr rechenaufwendig. Im Beitrag wurden Verfahren entwickelt, die den Berechnungsaufwand stark reduzieren und damit eine analytische Behandlung erst ermöglichen. Durch die Anwendung Semi-Markovscher Zuverlässigkeitsmodelle können statistische Daten über das stochastische Systemverhalten zu einer detaillierten Auswertung herangezogen werden.

Langmann, R.:

Realisierung digitaler Steuer- und Regelalgorithmen für Präzisionsstellantriebe mit dem Mikroprozessor UB 8002

msr, Berlin 32 (1989) 9, S. 401—403

Der Beitrag beschreibt die Realisierung von Bahninterpolations- und Lageregelalgorithmen für Präzisionsstellantriebe in der Industrierobotertechnik. Die programmtechnische Umsetzung der Algorithmen insbesondere von höherwertigen Interpolationsalgorithmen mit der 16-bit-CPU UB 8002 dokumentiert die besondere Eignung dieses Mikroprozessors für Echtzeitaufgaben in der Steuerungstechnik.

Maletti, R.; Stein, H.:

Gültigkeitsprüfung von Prozeßinformationen mittels analytischer Redundanz und Paritätsraumdarstellung

msr, Berlin 32 (1989) 9, S. 404—409

Es werden der internationale Stand und Entwicklungstendenzen auf dem Gebiet der Gültigkeitsprüfung von Sensorsignalen mittels analytischer Redundanz und Parity-space-Darstellung gezeigt. Das Parity-space-Verfahren wird in geschlossener mathematischer Form dargeboten. Um die rasche industrielle Nutzung dieser Methode anzuregen, werden einige für den Prozeßrechner K1630 getestete FORTRAN-Parity-space-Routinen erläutert.

Lichtblau, M.; Heymann, D.:

Einfluß von nichtäquidistanter Abtastung auf das dynamische Verhalten geschlossener Regelkreise

msr, Berlin 32 (1989) 9, S. 409—412

Äquidistanz der Abtastung ist eine übliche, grundlegende Forderung für Abtastsysteme. Es wird ein Simulationsverfahren zur Quantifizierung der Auswirkungen nichtäquidistanter Abtastung vorgestellt. Abschließend wird eine Gleichung angegeben, die es dem Projektanten ermöglicht, die zulässige Varianz eines Gauß-Abtastprozesses zu bestimmen und so die ökonomisch günstige Auslegung einer Automatisierungsanlage zu finden.

Резюме

Beuschel, J.:

О вопросе связи между теорией и практикой

msr, Berlin 32 (1989) 9, стр. 386—389

Статья продолжает долголетние дискуссии по вопросу „разрыва между теорией и практикой“ в технике автоматизации. В частности, объясняется функция технических показателей в связи между теорией и практикой. Пояснение ориентировано на теоретические развития техники автоматизации, однако, оно не ограничено данными развитиями.

Flämig, E.; Kath, U.; Urner, G.; Witke, W.:

Метод корреляции для многофазного расходомера

msr, Berlin 32 (1989) 9, стр. 394—397

Представлен простой коррелятор, построенный с учетом выгодных расходов. Одновременно показано, каким образом такой измерительный прибор может быть реализован при помощи микровычислителя. Коррелятор универсально применимый. Датчики должны тщательно быть приспособлены к данной задаче измерения. Изображены измерения твердо-газобразных, твердо-жидкостных, газообразно-жидкостных и жидкостно-жидкостных течений, а также обсуждены преимущества и недостатки различных датчиков и влияющих факторов, вызванных течением.

Klingner, M.:

Метод расчета семи-марковских моделей надежности

msr, Berlin 32 (1989) 9, стр. 397—401

Применение семи-марковских процессов со многими состояниями позволяет расчеты надежности в системах, функционирование которых подлежит изменениям, зависящим от времени. Бывшие модели на этой основе требовали многих расчетов. В статье разработаны методы, сильно снижающие затраты на расчеты и таким образом только обеспечивают аналитическое рассмотрение. Путем применения семи-марковских моделей надежности статистические данные о поведении стохастических систем могут быть использованы для детальной оценки.

Langmann, R.:

Реализация алгоритмов цифрового управления и регулирования для прецизионных исполнительных механизмов при помощи микропроцессора УБ 8002

msr, Berlin 32 (1989) 9, стр. 401—403

Статья описывает реализацию алгоритмов интерполяции маршрута и регулирования положения для прецизионных исполнительных механизмов в области техники промышленных роботов. Программнотехническое преобразование алгоритмов, в частности, алгоритмов интерполяции с более высокой валентностью при помощи 16-разрядного центрального устройства обработки данных УБ 8002 показывает особую пригодность данного микропроцессора для решения задач в реальном масштабе времени в области техники управления.

Maletti, R.; Stein, H.:

Проверка действительности информации процесса при помощи аналитической избыточности и изображения пространства паритетности

msr, Berlin 32 (1989) 9, стр. 404—409

Показаны международный уровень и тенденции развития в области проверки действительности сигналов от датчиков при помощи аналитической избыточности и изображения пространства паритетности (четности). Способ пространства четности показан в замкнутой математической форме. Для того, чтобы активировать немедленное промышленное использование данного способа пояснен ряд стандартных программ пространства четности, испытанных для процессора К 1630.

Lichtblau, M.; Heymann, D.:

Влияние неэквидистантной выборки на динамическое поведение замкнутых контуров регулирования

msr, Berlin 32 (1989) 9, стр. 409—412

Эквидистантная выборка является стандартным основным требованием систем сканирования данных. Представлен способ моделирования для квантификации воздействий неэквидистантной выборки. Заключительно указано уравнение, которое обеспечивает проектанту определить допустимую дисперсию гауссового процесса сканирования и таким образом найти экономически выгодный расчет установки автоматизирования.

Summaries

Beuschel, J.:

On the Relation between Theory and Practice

msr, Berlin 32 (1989) 9, pp. 386—389

The contribution joins to the discussions of many years concerning the gap between theory and practice in automation. The function of technical indices in combining theory and practice is founded in particular. The explanation concerns technical and theoretical developments in automation but is not restricted to them.

Flämig, E.; Kath, U.; Urner, G.; Witke, W.:

Correlation Method for the Multiphase Flow Measurement

msr, Berlin 32 (1989) 9, pp. 394—397

The authors present a simple and economic correlator and show how such a measuring device can be implemented by means of a microcomputer. The correlator can be used universally. The sensors are to be thoroughly adapted to the individual measurement problem. The authors present the measurements of solid-gaseous, solid-liquid, gaseous-liquid and liquid-liquid flows and discuss the advantages and shortcomings of different sensors as well as of influencing factors determined by the flow.

Klingner, M.:

Method for Calculating Semi-Markovian Reliability Models

msr, Berlin 32 (1989) 9, pp. 397—401

The application of semi-Markovian multistate processes allows reliability calculations in systems whose functional capacity is subject to time-dependent changes. Models of this type used up to now have been very expensive as to computation. The author develops methods which considerably reduce the calculation expense and, thus, but now allow an analytical treatment. Due to the application of semi-Markovian reliability models, statistical data concerning the stochastic system behavior can be used for a more detailed evaluation.

Langmann, R.:

Implementation of Digital Control Algorithms for Precision Control Drives by Means of the Microprocessor UB 8002

msr, Berlin 32 (1989) 9, pp. 401—403

The author describes the realization of contour interpolation and position control algorithms for precision control drives in industrial robotics. The programmed form of the algorithms, in particular of the higher interpolation algorithms, with the 16-bit CPU UB 8002 shows the particular aptitude of this microprocessor for real-time problems in control engineering.

Maletti, R.; Stein, H.:

Validation of Process Information by Means of Analytical Redundancy and Parity Space Representation

msr, Berlin 32 (1989) 9, pp. 404—409

The authors point out the international state of the art and trends of development in the field of validating sensor signals by means of analytical redundancy and parity space representation, the parity space method being represented in closed mathematical form. In order to stimulate the fast industrial use of this method, the authors explain some FORTRAN parity space routines tested for the process computer K 1630.

Lichtblau, M.; Heymann, D.:

Influence of Non-Equidistant Sampling on the Dynamic Behavior of Closed Feedback Control Loops

msr, Berlin 32 (1989) 9, pp. 409—412

Equidistance of sampling is a usual basic requirement for sampled-data systems. The authors present a simulation method for the quantification of the effects of a non-equidistant sampling. Finally, an equation is given allowing the design engineer to determine the admissible variance of a Gaussian sampling process and to find the economically most favourable layout of an automation system.

Résumés

Beuschel, J.:

Sur le rapport entre la théorie et la pratique

msr, Berlin 32 (1989) 9, pp. 386—389

La contribution suit les discussions de plusieurs années sur l'écart entre la théorie et la pratique en automatisation. La fonction des caractéristiques techniques dans la combinaison de la théorie avec la pratique est particulièrement fondée. L'explication concerne les développements techniques et théoriques dans l'automatisation mais n'est pas restreintes à ceux.

Flämig, E.; Kath, U.; Urner, G.; Witke, W.:

Méthode à corrélation pour la mesure de débit polyphasé

msr, Berlin 32 (1989) 9, pp. 394—397

Les auteurs présentent un corrélateur simple et bon marché et montrent comment on peut réaliser un tel dispositif de mesure à l'aide d'un micro-ordinateur. Le corrélateur peut être utilisé universellement. Il faut adapter avec soin les capteurs au problème de mesure individuel. Les auteurs traitent les mesures des écoulements solides-gazeux, solides-liquides, gazeux-liquides et liquides-liquides et discutent les avantages et désavantages de différents capteurs ainsi que des facteurs d'influence dépendant de l'écoulement.

Klingner, M.:

Méthode pour le calcul des modèles de fiabilité semi-markoviens

msr, Berlin 32 (1989) 9, pp. 397—401

L'emploi des processus semi-markoviens à plusieurs états permet les calculs de fiabilité dans des systèmes dont l'aptitude à fonctionner dépend de changements temporels. Les modèles de ce type utilisés jusqu'à présent était très couteux en ce qui concerne la dépense de calcul. L'auteur développe des méthodes qui réduisent considérablement la dépense de calcul et, c'est pourquoi, rendent possible un traitement analytique. Par l'emploi des modèles de fiabilité semi-markoviens, on peut utiliser les données statistiques du comportment de système stochastique pour une évaluation plus détaillée.

Langmann, R.:

Réalisation des algorithmes numériques de commande et de régulation pour les entraînements de commande de précision à l'aide du micro-processeur UB 8002

msr, Berlin 32 (1989) 9, pp. 401—403

L'auteur décrit la réalisation des algorithmes d'interpolation de contour et de régulation de position pour les entraînements de commande de précision dans la robotique industrielle. La forme programmée des algorithmes, particulièrement des plus hauts algorithmes d'interpolation, avec l'unité centrale à 16 bits UB 8002 montre l'aptitude particulière de ce micro-processeur aux problèmes en temps réel de la technique de commande.

Maletti, R.; Stein, H.:

Validation des informations de processus à l'aide de la redondance analytique et de la représentation en espace de parité

msr, Berlin 32 (1989) 9, pp. 404—409

Les auteurs présentent l'état présent et les tendances de développement internationaux au champ de la validation des signaux de capteur à l'aide de la redondance analytique et de la représentation en espace de parité, la méthode d'espace de parité étant donnée en forme mathématique fermée. Pour stimuler le prompt emploi industriel de cette méthode, les auteurs expliquent des routines d'espace de parité éprouvées pour l'ordinateur de processus K 1630.

Lichtblau, M.; Heymann, D.:

Influence d'un échantillonnage non-équidistant sur le comportement dynamique des boucles de régulation fermées

msr, Berlin 32 (1989) 9, pp. 409—412

L'équidistance de l'échantillonnage est une usuelle exigence de base pour les systèmes échantillonnés. Les auteurs présentent une méthode de simulation pour la quantification des effets d'un échantillonnage non-équidistant. Enfin, on donne une équation qui permet à l'ingénieur-projecteur de déterminer la dispersion admissible d'un processus d'échantillonnage gaussien et de trouver le dimensionnement économiquement le plus favorable d'une installation d'automatisation.

Mikrorechner in der thermischen Meßtechnik

Im Mai 1989 veranstaltete das Technische Komitee TC 12 der IMEKO in Łódž ein internationales Symposium zum Thema „Microprocessors in Temperature and Thermal Measurement“. Ausgehend von einer Übersicht zur Wirkung der Mikroelektronik und Informationstechnik in der thermischen Meßtechnik wurden in 20 Vorträgen Lösungen für Thermometerprüfung, Signalverarbeitung, Ermittlung dynamischer Kennwerte von Sensoren und thermischen Anlagen sowie für thermische Meßverfahren vorgestellt. Die thermischen Meßverfahren umfassen vielfältige Anwendungen: Ermittlung von Wärmeleitfähigkeits- und Ausdehnungskoeffizienten (Hochgeschwindigkeitspyrometer, Interferometer, Laserblitzmethode), von Wärmedurchgangskoeffizienten sowie von Temperaturfeldern (in elektronischen Bauelementen, für Kryomedizin und Laserbearbeitung). Die Mikroelektronik führt einerseits zu Rationalisierungseffekten und andererseits zur Realisierung bisher nicht diskutabler Meßverfahren. Voraussetzung für den Rechnereinsatz ist in vielen Fällen die Aufbereitung kleiner, schnell veränderlicher Signale.

VR Bulgarien automatisiert die diskrete Produktion

In der Volksrepublik Bulgarien sind beachtliche Anstrengungen auf dem Gebiet der Automatisierung der diskreten Produktion und insbesondere der Montage zu beobachten. Es werden Roboter unterschiedlicher Leistungsklassen vom einfachen Manipulator bis zum antropomorphen Roboter entwickelt und produziert. Eine zentrale Rolle spielt hierbei das Kombinat für Automatisierung der Montage mit seinen 12000 Mitarbeitern. Die Friedensinitiativen und einseitigen Abrüstungsmaßnahmen der sozialistischen Länder ermöglichten es der VR Bulgarien, das Kombinat für Automatisierung aus den nun verfügbaren Reserven ehemals militärischer Produktion zu stärken. Das Forschungszentrum dieses Kombinates in Plovdiv konnte im April 1989 ein hochmodern ausgerüstetes Schulungszentrum seiner Bestimmung übergeben. In diesem Schulungszentrum erfolgt neben der Ausbildung von Kadern auch die Vormontage von Anlagen der komplexen Automatisierung.

Die Wiege der bulgarischen Roboter steht an der Hochschule für Maschinenbau und Elektrotechnik WMEI „W. I. Lenin“ in Sofia. Der Lehrstuhl für die Automatisierung der diskreten Fertigung steht unter der Leitung von Professor Ganovski. An diesem Lehrstuhl geht man auch neue Wege, um die Forschungsergebnisse schnell produktionswirksam werden zu lassen. So wurde im Hochschulbereich ein Werk errichtet, das die an der Hochschule entwickelten Roboter produziert. Anders als die Technika unserer Hochschulen und Universitäten ist dieses Werk wirtschaftlich eigenständig. Der Lehrstuhl für die Automatisierung der diskreten Fertigung an der WMEI ist außerordentlich aktiv im Wissenschaftlich-Technischen Verband Bulgariens (NTS). Unter der Regie des NTS fanden in Plovdiv ein internationales Seminar „Visuelle Sensoren in der Montage“ und Ende Mai 1989 eine Tagung „Automatisierung der Montage“ statt. Vom 1. bis 6. Oktober 1989 werden in einem internationalen Wettbewerb „Robotika-89“ Nachwuchswissenschaftler in Sosopol um die Plätze ringen.

Impressum

messen · steuern · regeln

Herausgeber: Kammer der Technik, Wissenschaftlich-Technische Gesellschaft für Meß- und Automatisierungstechnik (WGMA)

Verlag: VEB Verlag Technik, Oranienburger Str. 13/14, PSF 201, Berlin, DDR-1020, Telegrammadresse: Technikverlag Berlin; Telefon 2 87 00; Telex: 011 222 8 techn dd

Verlagsdirektor: Dipl.-Ing. Klaus Hieronimus

Redaktion: Dr.-Ing. Dietrich Werner, Verantwortlicher Redakteur (Telefon: 2 87 03 62)

Dr.-Ing. Jürgen Wede, Redakteur (Telefon: 2 87 03 74)

Gestaltung: Veronika Becker

Lizenz-Nr.: 1112 des Presseamtes beim Vorsitzenden des Ministerrates der Deutschen Demokratischen Republik

AN (EDV): 15 936

Erscheinungsweise: monatlich 1 Heft

Heftpreis: 4,— M, Abonnementpreis vierteljährlich 12,— M; Auslandspreise sind den Zeitschriftenkatalogen des Außenhandelsbetriebs BUCHEXPORT zu entnehmen.

Gesamtherstellung: VEB Druckerei „Thomas Müntzer“, Bad Langensalza, 5820

Anzeigenannahme: Für Bevölkerungsanzeigen alle Anzeigen-Annahmestellen in der DDR, für Wirtschaftsanzeigen der VEB Verlag Technik, Oranienburger Str. 13/14, PSF 201, Berlin, 1020. Anzeigenpreisliste Nr. 7; Auslandsanzeigen: Interwerbung GmbH, Hermann-Duncker-Str. 89, Berlin, DDR-1157

Bezugsmöglichkeiten:

DDR: sämtliche Postämter

SVR Albanien: Direktorije Quendrore e Perhapjes dhe Propaganditit te Librit Bruga Konference e Pezes, Tirana

VR Bulgarien: Direkzia R.E.P., 11 a, Rue Paris, Sofia

VR China: China National Publications Import and Export Corporation, West Europe Department, P.O. Box 88, Beijing

ČSSR: PNS — Ústřední Expedicia a Dovoz Tisku Praha, Slezska 11, 12000 Praha 2; PNS, Ústredná Expedicia a Dovoz Tlaće, Posta 002 885 47 Bratislava

SFR Jugolawien: Jugoslovenska Knjiga, Terazije 27, Beograd; Izdavačko Knjižarako Produzeče MLADOST, Ilica 30, Zagreb

Koreanische DVR: CHULPANMUL Korea Publications Export & Import Corporation, Pyongyang

Republik Kuba: Empresa de Comercio Exterior de Publicaciones, O'Reilly No. 407, Ciudad Habana

VR Polen: C. K. P. i. W. Ruch, Towarowa 28, 00-958 Warszawa

SR Rumänien: D.E.P. București, Piața Scienteii, București

Ungarische VR: P.K.H.I., Külföldi Elöfizetési Osztály, P.O. Box 16, 1426 Budapest

UdSSR: Städtische Abteilungen von Sojuzpečat oder Postämter und Postkontore

SR Vietnam: XUNHASABA, 32, Hai Ba Trung, Hanoi

BRD und Berlin (West): ESKABE Kommissions-Grossobuchhandlung, Postfach 36, 8222 Ruhpolding/Obb.; Helios Literatur-Vertriebs-GmbH, Eichborndamm 141—167, Berlin (West) 52; Kunst und Wissen Erich Bieber OHG, Postfach 46, 7000 Stuttgart 1; Gebrüder Petermann, BUCH + ZEITUNG INTERNATIONAL, Kurfürstenstraße 111, Berlin (West) 30

Österreich: Helios Literatur-Vertriebs-GmbH & Co. KG, Industriestraße B 13, A-2345 Brunn am Gebirge

Schweiz: Verlagsauslieferung Wissenschaft der Freihofer AG, Weinbergstraße 109, 8033 Zürich

Alle anderen Länder: örtlicher Buchhandel; BUCHEXPORT Volkseigener Außenhandelsbetrieb der Deutschen Demokratischen Republik, Postfach 160, Leipzig, DDR-7010 und Leipzig Book Service, Talstraße 29, Leipzig, DDR-7010.

Abnahmebedingungen:

Die Redaktion veröffentlicht nur Originalbeiträge. Für Nachdrucke, Übersetzungen oder Vervielfältigungen jeglicher Art gilt der Rechtsvorbehalt. Die Redaktion behält sich Änderungsvorschläge bei der Beitragsbearbeitung vor. Die Beiträge müssen generell mit einer Veröffentlichungsfreigabe des Betriebes oder der Institution der Autoren versehen sein.

Bei der Anfertigung von Beiträgen sind unbedingt die Manuskripthinweise zu beachten. Diese sind dem Heft 1/1989, S. 45, zu entnehmen bzw. werden von der Redaktion auf Anfrage zugesandt. Die Einhaltung der Manuskripthinweise bildet die Voraussetzung für eine zügige und sachgerechte Beitragsbearbeitung.

Symposium „Industriebussysteme“

Der Bezirksvorstand der Kammer der Technik Karl-Marx-Stadt führt gemeinsam mit der TU Karl-Marx-Stadt und der WGMA, FA 2 und FA 6, am 29. November 1989 in Karl-Marx-Stadt das o. g. Symposium durch.

Zielstellung:
Information über Stand der Entwicklungsarbeiten auf dem Gebiet der prozeßnahen Bussysteme, insbesondere PROFI-Bus, in der DDR. Es werden folgende Themengruppen behandelt:

- Überblick zu Industriebussystemen
- Entwicklungen zu Hard- und Software zur Implementierung der Schichten 1, 2 und 7 des ISO-Schichtenmodells

Damit soll ein breiter Anwenderkreis angesprochen und informiert werden.
Rückfragen bzw. Teilnahmemeldungen richten Sie bitte an:

Kammer der Technik BVo Karl-Marx-Stadt
— Tagungsorganisation —
PSF 504
Karl-Marx-Stadt
9010
Telefon: 6 21 41.

2. Internationale Fachtagung „Lichttechnik“

Der Fachverband Elektrotechnik in der KDT, Wissenschaftliche Sektion Lichttechnik, und das Kombinat VEB NARVA veranstalten vom 22. bis 24. Januar 1990 in der Berliner Kongreßhalle am Alexanderplatz die o. g. Tagung.
Schwerpunkte:

- Neue Entwicklungen auf den Gebieten
  - Lampen und Strahler
  - Leuchten und Bestrahlungseinrichtungen
  - Bestrahlungstechniken und -technologien
  - Beleuchtungsanlagen
  - Zünd-, Vorschaltgeräte und Zubehör
  - Licht- und Strahlungsmeßtechnik
- Rationelle Energieanwendung
  - Einsatz hocheffektiver Lampen, Strahler und Anlagen
  - Anwendung beleuchtungstechnischer Standardisierungs- und Projektierungsvorschriften
- Einsatz der Mikroelektronik und Rechentechnik bei der Erzeugnisentwicklung von optischen Strahlungsquellen und Leuchten in der Beleuchtungstechnik, insbesondere bei Projektierungsaufgaben (CAD/CAM)
- Einsatz der optischen Strahlungstechnik für Hochtechnologien (Mikroelektronik, Biotechnologie, Medizin u. a.)
- Neueste Erkenntnisse der Grundlagenforschung auf den Gebieten
  - Anwendung und Entwicklungstendenzen der optischen Strahlungstechnik
  - Erzeugung optischer Strahlung
  - Licht- und Strahlungsquellen
  - Geräte und Vorrichtungen zum Betreiben und Untersuchen von Licht- und Strahlungsquellen.

Teilnahmemeldungen richten Sie bitte schriftlich an:

Kammer der Technik
— Präsidium —
Fachverband Elektrotechnik
Clara-Zetkin-Str. 115—117
Berlin
1086

XVI. Fachtagung „Elektronische Stromversorgungstechnik — eine Voraussetzung für Schlüsseltechnologien“

Die o. g. wissenschaftlich-technische Veranstaltung wird am 6. November 1989 in der Kongreßhalle am Alexanderplatz in Berlin durchgeführt.

Veranstalter:

Fachverband Elektrotechnik in der KDT; Fachausschuß 14; Steuerungs- und Regelungstechnik

Inhaltliche Schwerpunkte:

- Schaltnetzteile — neue Bauelemente — neue Werkstoffe
- Praktische Schaltungstechnik
- Schutzgüte und neue Standards

Teilnahmemeldungen sind schriftlich an folgende Anschrift zu richten:

Kammer der Technik
— Präsidium —
Fachverband Elektrotechnik
Clara-Zetkin-Str. 115—117
Berlin, DDR-1086.

Models and Forcasts '90

Vom 5. bis 7. September 1990 findet an der Hochschule für Ökonomie „Bruno Leuschner“ mit Unterstützung der Fachunterausschüsse „Prozeßanalyse und Modellbildung“ und „Modellierung und Simulation in der Ökonomie“ der Wissenschaftlich-Technischen Gesellschaft für Meß- und Automatisierungstechnik (WGMA) in der KDT die o. g. Tagung statt.

Tagungsschwerpunkte:

- theoretische Fundierung von mathematischer und ökonomischer Modellbildung, Identifikation und Vorhersage
- Anwendung auf nichttechnische, spezielle ökonomische Probleme
- wissensbasierte Modellbildung und Vorhersage
- Dialogsysteme und Software

Tagungssprache: Englisch
Anfragen sind zu richten an:

Hochschule für Ökonomie „Bruno Leuschner“ Sektion Wirtschaftsinformatik
Dr. W. Götze
Hermann-Duncker-Str. 8
Berlin
1157

„Mikrorechner und ASIC's in der Meß- und Automatisierungstechnik“

Am 27. und 28. März 1990 wird an der TU „Otto von Guericke“ Magdeburg, Sektion Automatisierungstechnik und Elektrotechnik, eine Fachtagung zu obiger Thematik veranstaltet. In den Hauptvorträgen wird dazu ein Gesamtüberblick vermittelt und in Kurzvorträgen werden spezielle Lösungen vorgestellt.

Themenkomplexe:

- Meßwerterfassung mit Mikrorechnern (einschließlich zugeordneter Kommunikations- und Mikrorechentechnik)
- Kundenspezifische Schaltkreise

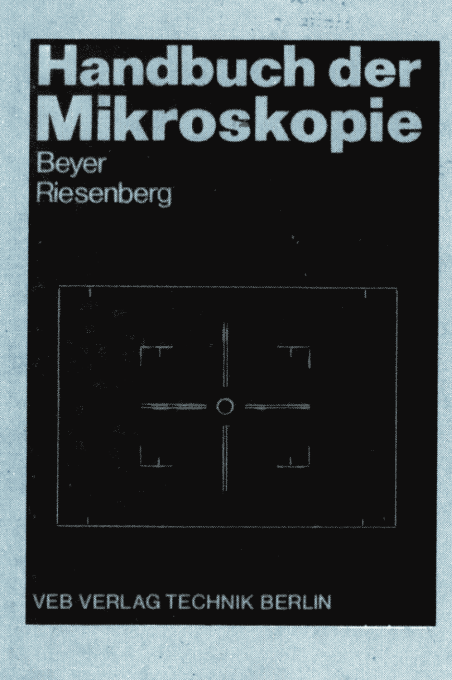
Teilnahmebedingungen richten Sie bitte umgehend an:

Technische Universität „Otto von Guericke“
Sektion Automatisierungstechnik und Elektrotechnik
Doz. Dr. sc. techn. B. Michaelis
Postschließfach 124
Magdeburg
3010.

Laser-Doppler-Anemometer mit Diodenlaser

Herkömmliche Laser-Doppler-Anemometer (LDA) verwenden in der Regel voluminöse Gaslaser und Fotomultiplier. Aus diesem Grund wurden portable LDA-Strömungssensoren bisher nicht realisiert.
Ein technologisch entscheidender Schritt wurde nun an der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt der BRD mit dem Einsatz von Halbleiterlasern und Fotodioden als Lichtquelle und Detektor getan. Als besonders geeignet erwiesen sich GaAlAs-Diodenlaser mit Multiple-quantum-well-Struktur in Verbindung mit Si-Avalanche-Fotodioden. Diese Halbleiter sind so leistungsstark, daß LDA-Aufbauten in Rückwärtsstreuanordnung möglich sind. Die Halbleiter-LDA sind herkömmlichen Gaslaser-LDA in der Leistung überlegen, da mit ihnen bessere Signal/Rausch-Verhältnisse in den Meßsignalen erzielt werden.

ISSN 0026-0347, mess., steuern, regeln
Berlin 32 (1989) 9, S. 385—432



Jetzt in stark bearbeiteter Auflage!

Handbuch der Mikroskopie

Herausgegeben von Dr.-Ing. Hermann Beyer und Dr. rer. nat. Horst Riesenberg
3., stark bearbeitete Auflage.
488 Seiten, 410 Bilder, 30 Tafeln (davon 15 mehrfarbig), Leinen, DDR 48,50 M, Ausland 70,— DM. Bestellangaben: 553 743 4/Beyer, Mikroskopie

Mit diesem Handbuch haben alle, die sich als Wissenschaftler oder Techniker mit dem Mikroskopieren befassen oder sich neu einarbeiten wollen, einen modernen, anspruchsvollen Helfer sowohl in methodischer als auch in technischer Hinsicht.

Auslieferung durch den Fachbuchhandel



Aus dem Inhalt

Historischer Überblick Die ersten 150 Jahre der mikroskopischen Entwicklung. Einführung achromatischer optischer Systeme. Wechselseitige Abhängigkeit von Zytologie, Histologie, Bakteriologie und der Mikroskopentwicklung im 19. Jahrhundert. Die letzten 100 Jahre der Mikroskopentwicklung

Optisches System des Mikroskops Gaußsche Abbildung oder fehlerfreie Abbildung. Strahlgang im zusammengesetzten Mikroskop — Vergrößerung — Abbildungsmaßstab. Strahlenbegrenzung und ihre Meßgrößen. Wellenoptische und aberrationsbehaftete Abbildung. Mikroskopoptik des zusammengesetzten Mikroskops. Mikroskopobjektive. Okulare und Projektive. Kondensoren

Beugungstheorie der mikroskopischen Abbildung Wellenoptische Grundlagen. Anwendung der Beugung auf die mikroskopische Abbildung. Abbesche Versuche zur Bildentstehung im Mikroskop

Mechanischer Aufbau des Mikroskops und seine Pflege Qualitätsmerkmale und Funktionen. Baueinheiten mikroskopischer Geräte. Baukasten mikroskopischer Geräte. Bedienungskomfort und Ergonometrie. Pflege des Mikroskops

Lichtquellen und Lichtfilter Lichtquellen. Lichtfilter.
Übersicht über die Haupteigenschaften der gebräuchlichen Lichtquellen für die Mikroskope

Mikroskopieverfahren und ihre Anwendung Durchlichtmikroskopie. Auflichtmikroskopie

Stereomikroskopie Stereoskopisches Sehen. Realisierung der Stereomikroskopie. Anwendungen

Verfahren zur Dokumentation und Demonstration mikroskopischer Bilder Zuordnung der Mikrofotografie zum Gesamtgebiet der Fotografie. Strahlengang des Mikroskops zur Erzeugung reeller Bilder in der Mikrofotografie. Videomikroskopie. Kinematografie. Mikroprojektion und Demonstration. Fotografische Bedingungen. Mikrofotografische Praxis. Mikroskopisches Zeichnen. Projektion mikroskopischer Bilder. Videomikroskopie. Mikrokinematografie und kinetische Analyse mikroskopischer Objekte

Messen und Zählen mit dem Mikroskop Grundlagen des mikroskopischen Messens. Spezialaufgaben der Mikrometrie. Probennahme und Präparation

Abtastende Mikroskope Automatische Bildanalyse. Eigenschaften und Anwendung des Licht-Raster-Mikroskops

Mikroskopie unter besonderen Temperatur- und Umweltbedingungen Hoch- und Tieftemperaturmikroskopie. Mikroskopie bei Über- und Unterdruck sowie in spezieller Gassphäre. Mikroskopie unter besonderen Bedingungen hinsichtlich Luftfeuchtigkeit

Literaturverzeichnis · Namenverzeichnis · Sachwörterverzeichnis